



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

CENTRO INTERAMERICANO DE RECURSOS DEL AGUA

**METODOLOGÍA PARA LA EVALUACION DE IMPACTOS VOLUMÉTRICOS Y
ENERGÉTICOS EN CAUDALES POR TRASVASE: CASO DE ESTUDIO CURSO
ALTO DEL RÍO LERMA**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS DEL AGUA**

Presenta:
Ing. Juan Hernández Flores

Director de tesis:
Dr. Carlos Roberto Fonseca Ortiz

Toluca, México; a 6 de diciembre de 2018

AGRADECIMIENTOS

Agradezco de ante mano a quien, sin lugar a duda, sin su apoyo, este trabajo no se hubiera realizado, quien fue mi asesor en este trabajo, el Dr. Carlos Roberto Fonseca Ortiz, quien siempre me apoyo a seguir adelante.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico otorgado para realizar mis estudios de Maestría, así como el apoyo al proyecto con número de cuenta 0543053, del cual pude colaborar con la presente investigación.

A todos los colaboradores del proyecto, especialmente a mi comité evaluador:

Dr. Miguel Ángel Gómez Albores

Dr. Carlos Alberto Mastachi Loza

Dr. Carlos Roberto Fonseca Ortiz

Dra. Ángeles Mendoza Sammet

Dr. Daury García Pulido

Dr. Iván Gallego Alarcón

Dr. Carlos Díaz Delgado

A todas las personas que conformaron el Centro Interamericano de Recursos del Agua (CIRA), por su colaboración, quienes ahora forman parte del Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua (IITCA)

A todas las personas que me apoyaron a lo largo de esta travesía, amigos y compañeros.

DEDICATORIA

A mi hijo, quien espero algún día verlo realizado académica y personalmente, más allá de lo que yo he podido, por quien he hecho lo poco que he logrado.

A toda mi familia por todo el apoyo recibido a lo largo de mis estudios de Maestría.

A todos ustedes, amigos y familiares quienes confiaron en mí y me apoyaron a salir adelante, en las buenas y en las malas, aquí están los resultados esperados.

A usted que está leyendo esto, gracias por tomarse el tiempo de leer un poco de lo que yo he querido que sepa el mundo.

CONTENIDO

CONTENIDO.....	4
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	9
RESUMEN	11
ABSTRACT	13
NOMENCLATURA Y UNIDADES	15
1. INTRODUCCIÓN.....	17
1.1. JUSTIFICACIÓN.....	19
1.2. HIPÓTESIS	20
1.3. OBJETIVOS	21
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	21
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
2. ANTECEDENTES	22
2.1. IMPACTOS DE TRASVASES	23
2.2. EMERGING ACCOUNTING.....	24
2.3. PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES	26
3. MARCO TEÓRICO	29
3.1. CAUDALES: BASE, MÍNIMO Y ECOLÓGICO	29
3.2. GASTO POR CONSUMO LOCAL Y GASTO DE DESCARGA LOCAL.....	31
3.3. ENFOQUE DESDE LA ECONOMÍA ECOLÓGICA	33
3.4. ENERGÍA POTENCIAL QUÍMICA DE CORRIENTES SUPERFICIALES.....	38
4. METODOLOGÍA	43
4.1. CONSTRUCCIÓN DE MODELO CONCEPTUAL	44
4.2. ESTIMACIÓN DE CAUDAL MÍNIMO	46
4.3. FASE “0”	46
4.4. FASE “1”	49
4.5. FASE “2”	53
4.6. PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES	55
4.7. ZONA DE ESTUDIO	56
4.7.1. CLIMA	61
4.7.2. RED DE DRENAJE.....	62

4.7.3. TRASVASE SISTEMA LERMA	65
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	67
5.1. IDENTIFICACIÓN DE FASES.....	73
5.2. IMPACTOS VOLUMÉTRICOS.....	76
5.3. IMPACTOS ENERGÉTICOS	83
5.4. PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES	90
CONCLUSIONES	95
BIBLIOGRAFÍA	98
I. ANEXOS	104
a. ANEXO I. TRAYECTORIA ORIGINAL Y ACTUAL DEL RÍO LERMA	104
b. ANEXO II. GASTO POR CONSUMO LOCAL Y DESCARGA LOCAL EN AL CUENCA DEL CARL 1930-2015	106
c. ANEXO III. ARROYOS CON PRESENCIA DE CAUDAL ECOLÓGICO	112
i. ANEXO III.1. DETERMINACIÓN DE SDT EN CAUDALES ECOLÓGICOS.....	116
ii. ANEXO IV.2. ENERGÍA POTENCIAL QUÍMICA EN ARROYOS CON CAUDAL ECOLÓGICO ..	120
d. ANEXO V. PARAMETROS DETERMINANTES DE PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES.....	121

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Dotación recomendada por CONAGUA (2007).	32
Tabla 3.2. relación entre el flujo de energía y los servicios de los ecosistemas del agua del caudal mínimo.	37
Tabla 3.3. Concentración de SDT en el mar muerto (Bashitalshaaer et al., 2008).	41
Tabla 3.4. Energía libre de Gibbs para diferentes almacenamientos de agua.	42
Tabla 4.1. Características fisiográficas de la cuenca del CARL.	58
Tabla 4.2. Poblacional dentro de la cuenca del CARL a lo largo del tiempo.	60
Tabla 4.3. Balance de masa de tributarios del río Lerma.	61
Tabla 5.1. Variables requeridas y generadoras asociadas a la evaluación del trasvase Sistema Lerma.	67
Tabla 5.2. Gasto del balance de masa y gasto estimado de descarga de habitantes dentro de las subcuencas de los tributarios del balance de masa.	71
Tabla 5.3. Caudales mínimos promedios mensuales por fases ($\bar{Q}_{\min 0}$).	78
Tabla 5.4. Caudal mínimo mensual de la fase 0 ($Q_{b\min 0}$).	80
Tabla 5.5. Identificación de impactos volumétricos en caudal mínimo Q_{\min}	82
Tabla 5.6. Concentración de SDT promedio mensual en el caudal mínimo por fase.	84
Tabla 5.7. Energía potencial química mensual promedio del caudal mínimo por fase.	86
Tabla 5.8. Valor energético promedio mensual del caudal mínimo por fase.	88
Tabla 5.9. Impactos energéticos en caudal mínimo con respecto al valor energético de la fase inicial.	89
Tabla 5.10. Valor monetario en fase 0 e impactos económicos por fase.	91
Tabla AI. 1. Comparación del balance de masa con las descargas de agua residual de la población dentro de las subcuencas de los tributarios.	105
Tabla AII. 1. Demanda y aportación de agua en la cuenca del CARL 1930 - 1940.	106
Tabla AII. 2. Demanda y aportación de agua en la cuenca del CARL 1950 - 1960.	107
Tabla AII. 3. Demanda y aportación de agua en la cuenca del CARL 1970 - 1980.	108
Tabla AII. 4. Demanda y aportación de agua en la cuenca del CARL 1990 - 1995.	109
Tabla AII. 5. Demanda y aportación de agua en la cuenca del CARL 2000 - 2005.	110
Tabla AII. 6. Demanda y aportación de agua en la cuenca del CARL 2010 - 2015.	111
Tabla AIV. 1. Cálculo de Sólidos Suspendidos Totales.	119
Tabla AIV. 2. Cálculo de Sólidos Totales.	119

Tabla AIV. 3. Cálculo de Sólidos Disueltos Totales.	119
Tabla V. 1. Caudal mínimo mensual por fase.	122
Tabla V. 2. Caudal mínimo mensual por fase.	123
Tabla V. 3. Caudal mínimo mensual por fase.	124
Tabla V. 4. Ecurrimiento medio mensual por fase.	125
Tabla V. 5. Ecurrimiento medio mensual por fase.	126
Tabla V. 6. Ecurrimiento medio mensual por fase.	127
Tabla V. 7. Sólidos disueltos totales mensuales del caudal mínimo por fase.	128
Tabla V. 8. Sólidos disueltos totales mensuales del caudal mínimo por fase.	129
Tabla V. 9. Sólidos disueltos totales mensuales del caudal mínimo por fase.	130
Tabla V. 10. Sólidos disueltos totales mensuales en escurrimiento medio por fase.	131
Tabla V. 11. Sólidos disueltos totales mensuales en escurrimiento medio por fase.	132
Tabla V. 12. Sólidos disueltos totales mensuales en escurrimiento medio por fase.	133
Tabla V. 13. Energía libre de Gibbs mensual del caudal mínimo por fase.	134
Tabla V. 14. Energía libre de Gibbs mensual del caudal mínimo por fase.	135
Tabla V. 15. Energía libre de Gibbs mensual del caudal mínimo por fase.	136
Tabla V. 16. Energía libre de Gibbs mensual del escurrimiento medio por fase.	137
Tabla V. 17. Energía libre de Gibbs mensual del escurrimiento medio por fase.	138
Tabla V. 18. Energía libre de Gibbs mensual del escurrimiento medio por fase.	139
Tabla V. 19. Precipitación promedio mensual por fase.	140
Tabla V. 20. Precipitación promedio mensual por fase.	141
Tabla V. 21. Precipitación promedio mensual por fase.	142
Tabla V. 22. Valor unitario de energía de escurrimiento medio.	143
Tabla V. 23. Valor unitario de energía de escurrimiento medio.	144
Tabla V. 24. Valor unitario de energía de escurrimiento medio.	145
Tabla V. 25. Valor energético mensual del caudal mínimo.	146
Tabla V. 26. Valor energético mensual del caudal mínimo.	147
Tabla V. 27. Valor energético mensual del caudal mínimo.	148
Tabla V. 28. Impactos energéticos mensuales por fase.	149
Tabla V. 29. Impactos energéticos mensuales por fase.	150
Tabla V. 30. Impactos energéticos mensuales por fase.	151
Tabla V. 31. Flujo monetario energético mensual del caudal mínimo por fase.	152

Tabla V. 32. Flujo monetario energético mensual del caudal mínimo por fase.	153
Tabla V. 33. Flujo monetario energético mensual del caudal mínimo por fase.	154
Tabla V. 34. Flujo monetario energético mensual de la descarga local por fase.	155
Tabla V. 35. Flujo monetario energético mensual de la descarga local por fase.	156
Tabla V. 36. Flujo monetario energético mensual de la descarga local por fase.	157
Tabla V. 37. Flujo monetario energético total mensual del caudal mínimo.	158
Tabla V. 38. Flujo monetario energético total mensual del caudal mínimo.	159
Tabla V. 39. Flujo monetario energético total mensual del caudal mínimo.	160
Tabla V. 40. Pago por servicios ambientales anuales imputables al trasvase y al consumo local.	161
Tabla V. 41 Pago por servicios ambientales del trasvase y del consumo local.	162

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Propuesta de caudal ecológico (SCFI, 2012).	31
Figura 3.2. Dinámicas del ecosistema representadas por el cambio en el flujo de emergencia y el valor de los servicios del ecosistema (Pulselli et al., 2011).	38
Figura 3.3. Concentraciones típicas de SDT en varias aguas a través del ciclo hidrológico (Clarck, 2015).	39
Figura 3.4. Concentración de SDT alpino suizoLanggletscher (Merrigan, 2012).	40
Figura 4.1. Diagrama general para el estudio de impactos volumétricos y energéticos en caudales por trasvase.	43
Figura 4.2. Modelo conceptual del fenómeno a estudiar.	44
Figura 4.3. Modelo conceptual de Fase 0.	47
Figura 4.4. Diagrama de flujo de materia y energía de la fase 0.	48
Figura 4.5. Modelo conceptual de Fase 1.	49
Figura 4.6. Diagrama de flujo de materia y energía de la fase 1.	52
Figura 4.7. Diagrama de flujo de materia y energía de la fase 2.	54
Figura 4.8. Ubicación de la cuenca del CARL.	57
Figura 4.9. Ubicación de municipios dentro de la cuenca del CARL.	59
Figura 4.10. Tipos de climas en la cuenca del CARL (INEGI, 2017).	62
Figura 4.11. Modelo digital de elevación con escurrimientos y cuerpos de agua superficial.	63
Figura 4.12. Estaciones hidrométricas en río Lerma.	64
Figura 4.13. Gastos mínimos anuales en estación hidrométrica 12374 “La Y”.	65
Figura 4.14. Gastos de trasvase del Sistema Lerma a lo largo del tiempo.	66
Figura 5.1. Gráfica de población, gasto por consumo local y gasto de descarga local.	69
Figura 5.2. Subcuencas de tributarios estudiados por Tejeda et al. (2015).	70
Figura 5.3. Correlación entre el gasto estimado (Q_{est}) y el gasto medido (Q_{Bm}) por Tejeda et al. (2015).	72
Figura 5.4. Identificación de fases.	75
Figura 5.5. Relación gasto de trasvase con caudal mínimo respecto al consumo local y precipitación.	76
Figura 5.6. Promedio de los gastos mínimos mensuales de cada fase.	79
Figura 5.7. Caudales mínimos mensuales por fase.	81
Figura 5.8. Impactos volumétricos mensuales en el caudal mínimo por fase.	83

Figura 5.9. Concentración de SDT promedio del caudal mínimo mensual por fases.....	85
Figura 5.10. Energía potencial química promedio mensual del caudal mínimo por fase.	87
Figura 5.11. Valor energético mensual del caudal mínimo por fase.....	88
Figura 5.12. Impactos energéticos mensuales por fase.	90
Figura 5.13. Valor económico de fase 0 (V_{e0}) e impactos económicos (I_{ei}) en caudal mínimo...93	
Figura AI. 1. Modelo digital de elevación con la trayectoria natural y actual del río principal de la cuenca del CARL.....	104
Figura AIII. 1. Ubicación de lugares de muestreo (MA, MB Y MC).	113
Figura AIII. 2. Girardinichthys tomado del lugar de muestreo MA.	114
Figura AIII. 3. Gammarus tomado del lugar de muestreo MB.	114
Figura AIII. 4. Gammarus y Hirudinea tomados del lugar de muestreo MB.....	115
Figura AIII. 5. Trichoptera larvae tomado del lugar de muestreo MB.....	115

RESUMEN

El presente trabajo presenta una metodología útil como herramienta en la toma de decisiones en la gestión de la extracción de agua subterránea, la cual permite valorar los impactos volumétricos y energéticos en caudales superficiales debido a la explotación de agua subterránea. Para ello, esta metodología permite separar los efectos de la extracción de agua subterránea de habitantes dentro de la cuenca de la cual se extrae el vital líquido (consumo local) y los efectos que genera un trasvase de agua intercuencas, en función de fases de explotación de agua subterránea a lo largo del tiempo.

Las fases de explotación de agua subterránea propuestas en este trabajo fueron denominadas:

- “Fase 0”: estado inicial o natural del río, en el cual no existen alteraciones debido a actividades antropogénicas, por lo que, el caudal superficial principal de la cuenca cedente tiene la capacidad de albergar un caudal ecológico.
- “Fase 1”: extracción de agua subterránea de un tipo, más un gasto de descarga de agua residual de habitantes dentro de la cuenca cedente hacia los cuerpos de agua superficial.
 - a. Por consumo local.
 - b. por trasvase.
- “Fase 2”: explotación de agua subterránea simultánea (por consumo local y por trasvase), más un gasto de descarga de agua residual hacia los cuerpos de agua superficial de la cuenca cedente.

El caso de estudio es el trasvase intercuencas denominado Sistema Lerma (SL), el cual trasvasa agua desde la cuenca del Curso Alto del Río Lerma (CARL) hacia la cuenca del valle de México (CvMx) desde 1951 (Torres, 2014).

En los resultados obtenidos, se encontró que, debido a la extracción de agua subterránea para abastecer al trasvase SL, el caudal mínimo del río principal de la cuenca del CARL (río Lerma) sufrió una reducción volumétrica del 25% con respecto a la fase inicial (fase 0). En la fase 2, el caudal mínimo presenta una recuperación volumétrica del 39 % con

respecto a la fase 1, es decir, un incremento volumétrico del 4% del caudal mínimo con respecto a la fase inicial. Sin embargo, esta recuperación volumétrica no representa la aportación de agua subterránea a los cuerpos de agua superficial (caudal base), sino a las descargas de agua residual de la población dentro de la cuenca del CARL hacia los cuerpos de agua superficial. Esto concuerda con la disminución de la energía potencial química del caudal mínimo en un 3.6% con respecto a la fase inicial, puesto que la energía potencial química depende de la concentración de Sólidos Disueltos Totales (SDT), la cual en la fase 2, fue muy cercana a la concentración de SDT de los tributarios del río Lerma, los cuales generalmente son aguas residuales (2106 mg/L; Fall et al., 2006).

Debido a la variación volumétrica y energética del escurrimiento medio del río Lerma, se presenta un Valor Unitario de Emergía (UEV, Unit Emergy Value) diferente para cada una de las fases propuestas. Dichas variaciones volumétricas y energéticas pueden expresarse en términos monetarios para el caudal mínimo mediante la relación emergía/dinero (seJ/\$). La variación del valor económico equivalente del caudal mínimo sufrió una pérdida monetario equivalente del 30 % de la fase 1 con respecto a la fase 0, mientras que de la fase 2 con respecto a la fase 1, la pérdida monetaria equivalente fue de 31.5 %, es decir, el caudal del río perdió su valor monetario 52% de la fase 0 a la fase 2.

Por lo que, se puede concluir que, debido al promedio del gasto de trasvase en la fase 2 (222,188,149 m³/año), el valor monetario equivalente de los impactos volumétricos y energéticos del trasvase en caudales superficiales es de USD 0.16 \$/m³. Por lo que, los impactos volumétricos y energéticos en el caudal mínimo debido a la explotación de agua subterránea por trasvase, pueden ser retribuíbles económicamente mediante un pago por servicios ambientales (PSA).

El PSA propuesto contribuirá en la gestión de un trasvase, con el fin de alcanzar las condiciones necesarias en el caudal superficial principal de una cuenca, que pueda albergar un caudal ecológico, posibilitando el albergar especies acuáticas y/o bioindicadores propios de la región en estudio.

ABSTRACT

In the present research work, a useful methodology for decision making based on the volumetric and energetic impacts on superficial flows due to groundwater exploitation. To this end, this methodology disaggregates the effects of groundwater exploitation, for local consumption and for an Inter Basin Water Transfer (IBWT), depending on phases of exploitation over the period of time.

The exploitation phases of groundwater proposed in this work considered are: initial or natural state of the river without alteration by anthropogenic activities, exploitation of groundwater by one type, either by IBWT or by local consumption, and a phase of joint exploitation by IBWT and local consumption, plus a wastewater discharge flow in superficial flows from the population in the donor basin. The case of study is the IBWT called Sistema Lerma (SL), which transfer water from the Upper Course of the Lerma River (UCLR) to the valley of Mexico basin since 1951 (Fall et al., 2006).

In phase 1, there is a depletion of the volume of the minimum flow due to the extraction of groundwater by the IBWT SL. In phase 2, the minimum flow volume increases in respect to phase 1, however, this increase does not represent the contribution of groundwater to surface water bodies, but rather, it originates due to the discharges of waste water of the population within the UCLR basin, since the concentration of Total Dissolved Solids (TDS) is very close to the TDS concentration of the tributaries of the Lerma River, which, in many cases, transports exclusively residual water (Fall et al., 2006).

Due to the volumetric and energetic variation in the mean flow of Lerma river, a different Unit Emery Value (UEV) is presented in the minimum flow of each of the phases, which can be expressed in monetary terms through the Emery/Money ratio. The variation of the economic equivalent value of the minimum flow showed a decrease of 16.13% in phase 1 in relation to phase 0, while phase 2 showed an increase of 9.01% in relation to phase 1 but a decrease of 8.57% in contrast to the initial phase.

It is concluded that, given the average of the IBWT expense in phase 2 ($7\text{m}^3/\text{s}$), the equivalent monetary value of the volumetric and energy impacts of the IBWT is 3.79

$\text{\$Mx/m}^3$. Therefore, the volumetric and energetic impacts in the low flow due to the exploitation of groundwater can be economically remunerated through a payment for environmental services, contributing to interbasin water transfer management, and to reach the necessary conditions to house an ecological flow in which endangered or endemic aquatic species of the study region can be housed.

NOMENCLATURA Y UNIDADES

Símbolo	Descripción	Unidades
Q_{\min}	Caudal mínimo	m^3/s
$Q_{\min A}$	Gasto mínimo anual	m^3/s
Q_b	Caudal base	m^3/s
Q_{cl}	Gasto por consumo local	m^3/s
Q_{dl}	Gasto de descarga local	m^3/s
Ca	Cono de abatimiento	m^3/s
Q_{tr}	Gasto de trasvase	m^3/s
G_{fe}	Energía libre de Gibbs	J/g
R	Constante universal de gases ideales-	J/mol °k
T	Temperatura del agua en condiciones ideales	°k
w	Peso molar del agua	g/mol
NAS	Nivel de agua Subterránea	m
H	Profundidad del NAS	m
P	Población	Número de habitantes
D	Dotación	L/hab/día
A_p	Aportación	L/hab/día
S	Energía solar	J
seJ	Joules equivalentes Solares	Emjoules
J	Joules	J
UEV	Valor Unitario de Emergía	seJ/J
$C2$	Concentración de SDT	ppm
SDT	Sólidos Disueltos Totales	ppm
$CARL$	Curso Alto del Río Lerma	---
SR	Sin Registro	---
Na	No hay dato	---

Símbolo	Descripción	Unidades
PSA	Pago por Servicios Ambientales	---
C_I	SDT en agua de mar	ppm
$Q_{\min MNi}$	Caudal mínimo del mes M del año N de la fase i	m^3/s
$UCLR$	Upper Course of the Lerma River	----
CAS	Concesión de agua superficial	----
Q_{Bm}	Gasto de balance de masa	m^3/s
Q_{est}	Gasto estimado por subcuenca	m^3/s
E_{pq}	Energía potencial química	J/g
$\bar{Q}_{\min i}$	Promedio del caudal mínimo de la fase i	m^3/s
$Q_{\min ji}$	Caudal mínimo mensual de la fase i	mg/L
C_2	SDT en agua a estudiar	---
MyR	Mantenimiento y recuperación	---
Tr	Trasvase	---
V_e	Valor económico	USD/mes
I_{eci}	Impacto económico	USD/mes
$\bar{Q}_{\min 0}$	Promedio de caudal mínimo por fase	m^3/s
$Q_{\min ji}$	Caudal mínimo mensual del mes j de la fase i	m^3/s

1. INTRODUCCIÓN

Los trasvases de agua intercuenas, desde cuencas con abundante agua hacia cuencas con escasez, ha sido una práctica para asegurar el suministro de agua en la cuenca receptora (Gohari et al., 2013). Sin embargo, la redistribución de recursos hídricos inevitablemente genera incertidumbre sobre los cambios que se pueden producir tanto en el ecosistema como en la economía de la cuenca cedente (Zhu et al., 2018).

Las fuentes de abastecimiento de los trasvases, pueden ser cuerpos de agua superficial o subterránea. Dado que el agua subterránea puede volver a surgir naturalmente en forma de manantiales o caudal base de los ríos (Ordoñez, 2011), los trasvases con fuentes de agua subterránea pueden causar afectaciones ambientales, tales como el abatimiento del nivel de agua subterránea, provocando una reducción del caudal mínimo en caudales superficiales y cambios en el hábitat que los albergan, afectando directamente al caudal ecológico (Zhu et al., 2018).

El presente trabajo propone una metodología que permite evaluar los impactos volumétricos y energéticos en caudales superficiales debido la explotación de agua subterránea para abastecer un trasvase. Estos impactos son evaluados con base en la propuesta de fases de explotación de agua subterránea. El estado de los caudales a estudiar es considerado a partir de su configuración original o natural, es decir, su condición sin alteraciones antropogénicas. Tal consideración permite comparación contra el estado del cauce en diferentes fases.

A partir de los impactos volumétricos (I_v) e impactos energéticos (I_e), la teoría del emergy accounting permite valorar económicamente el caudal mínimo del río en las diferentes fases. Por lo que esta teoría es utilizada para estimar el monetario a lo largo del tiempo del periodo de estudio del presente trabajo, así como en cada una de las fases propuestas.

Los impactos volumétricos encontrados, muestran que, debido a la explotación de agua subterránea, el caudal mínimo sufre una reducción del 25 % de la fase 0 a la fase 1, mientras que en la fase 2, se presenta una recuperación volumétrica de 39 % de la fase 2 con respecto a la fase 0, sin embargo, esta recuperación, es debido a las aportaciones de agua residual de la población hacia los cuerpos de agua superficial.

Mientras que los impactos energéticos (I_e), tienden a ser mayores debido a las descargas agua residual de la población local hacia los cuerpos de agua superficial, encontrando un impacto energético de la fase 1 con respecto a la fase 0 de 2.4 %, mientras que de la fase 2 con respecto a la fase 1 la pérdida de la energía del caudal del río fue de 1.2 %, es decir una pérdida total de la energía potencial del río de la fase 2 con respecto a la fase 0 de 3.6 %.

A partir de los impactos volumétricos (I_v) y energéticos encontrados (I_e), se encontró un valor monetario anual promedio en la fase inicial (fase 0) de USD 102,248,252 \$/año. Para la fase 1, el caudal del río Lerma perdió en promedio USD 30,706,762 \$/año, para la fase 2, el valor del caudal del río fue de USD 48,988,549 \$/año, lo que equivale a una pérdida del valor monetario del río de USD 53,259,704 \$/año. La pérdida del valor monetario equivalente del río es debido a los impactos volumétricos y energéticos encontrados en el presente trabajo.

Por lo tanto, dado que el gasto de extracción de agua subterránea anual promedio de la fase 2 para abastecer al trasvase Sistema Lerma (SL) fue de 222,188,149 m³/año, y el valor monetario del caudal superficial del río Lerma dentro de la cuenca del CARL (USD 48,988,549 \$/año), se estima que, el costo de extracción de agua subterránea es de USD 0.16 \$/m³.

Por lo que, el presente trabajo propone implementar un pago por servicios ambientales (PSA), como compensación al caudal mínimo, de manera proporcional a los impactos volumétricos y energéticos estimados debido a la explotación de agua subterránea para abastecer al trasvase Sistema Lerma. Compensación que puede servir como herramienta en la gestión de los trasvases, la cual puede ser usada para apoyar algunas necesidades de propietarios de áreas forestales, con el fin de mantener o recuperar áreas forestales y evitar el cambio de uso de suelo.

1.1.JUSTIFICACIÓN

Las sociedades en constante crecimiento demandan una mayor cantidad de agua para satisfacer sus necesidades hídricas. Sin embargo, debido al agotamiento y a la creciente contaminación del vital líquido en la cuenca que habitan (cuenca receptora), las sociedades construyen trasvases desde cuencas que cuentan con el vital líquido (cuenca cedente).

Los trasvases de agua pueden aprovechar diversas fuentes de abastecimiento desde almacenamientos de agua superficial o subterránea. Sin embargo, en temporada de estiaje, el caudal mínimo de caudales superficiales es exclusivamente debido a las aportaciones de agua subterránea (caudal base). Por esta razón, los trasvases de agua con fuentes de abastecimiento de agua subterránea pueden provocar afectaciones ambientales, tales como el abatimiento en el nivel de agua subterránea, provocando una reducción en el caudal mínimo, por ende, afectando al caudal ecológico y a las especies que los habitan.

Por ello, el presente trabajo propone una metodología que permite evaluar los impactos volumétricos y energéticos de un trasvase en caudales superficiales, y los impactos en el caudal mínimo de caudales superficiales.

Los impactos volumétricos son una relación de la variación volumétrica de caudales superficiales a lo largo del tiempo. Mientras tanto, los impactos energéticos son un indicador de la calidad del agua, basados en la concentración de sólidos disueltos totales (SDT) y la energía potencial química del agua. Esta evaluación energética está relacionada a la teoría de la economía ecológica (Odum, 1996).

Empleando la economía ecológica, los impactos volumétricos y energéticos del trasvase en caudales superficiales, pueden ser imputables de manera proporcional mediante un pago por servicios ambientales (PSA). El presente trabajo propone una metodología que pueda servir como una herramienta de soporte en la gestión de los trasvases, al permitir valorar un PSA con el fin de mantener o recuperar las fuentes de las que se extrae el vital líquido. El PSA puede servir para satisfacer las necesidades de propietarios de áreas forestales, con el fin de mantener o recuperar área forestal y evitar el cambio de uso de suelo.

1.2.HIPÓTESIS

Los impactos volumétricos y energéticos de un trasvase de agua intercuenas con fuentes de agua subterránea en caudales superficiales de la cuenca cedente, pueden ser imputables de manera proporcional mediante un pago por servicios ambientales (PSA), en base a la representación integra de las variaciones volumétricas y energéticas de caudales superficiales de la cuenca cedente.

1.3.OBJETIVOS

1.3.1.OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una metodología que permita evaluar los impactos volumétricos y energéticos de un trasvase de agua intercuenas en caudales superficiales como soporte al pago por servicios ambientales por externalidades de un trasvase.

1.3.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir un modelo conceptual del fenómeno a estudiar.
- Desarrollar relaciones funcionales para las fases que infieren cambios volumétricos y energéticos debido a extracciones de agua subterránea en caudales superficiales.
 - a) Fase inicial “0”: estado natural del caudal superficial principal de la cuenca cedente, sin alteraciones debido a actividades antropogénicas.
 - b) Fase “1”: extracciones de agua subterránea por consumo local o por trasvase, más un gasto de descarga de agua residual hacia cuerpos de agua superficial.
 - c) Fase “2”: extracciones de agua subterránea simultánea, por consumo local y por trasvase, más un gasto de descarga de agua residual hacia cuerpos de agua superficial.
- Estimar variaciones volumétricas del cauce principal de la cuenca cedente de un trasvase conforme a las fases planteadas.
- Estimar variaciones energéticas (energía potencial química) del caudal principal de la cuenca cedente de un trasvase, bajo las fases identificadas.
- Proponer un pago por servicios ambientales hidrológicos por externalidades debido al trasvase de agua intercuenas en estudio, en función de los impactos volumétricos y energéticos evaluados dentro de la cuenca cedente de un trasvase

2. ANTECEDENTES

Los trasvases de agua tienen una larga historia como medio para mitigar la escasez de agua en una región, desde lugares donde el agua es relativamente abundante (Cox, 1999). Las primeras civilizaciones en construir trasvases fueron la mesopotámica y la egipcia, entre tres mil y cinco mil años antes de Cristo, quienes construían canales de riego para el riego de sus cultivos, así como para abastecer sus necesidades hídricas (Bazz, 2006).

En la cuenca del valle de México, aún se cuenta con ruinas de acueductos de trasvases que abastecían de agua al centro de la urbe, tales como:

- El acueducto Tetzcotzinco (Acolhuacan, edo. de Méx.), actualmente conocido como los baños de Nezahualcoyotl, que de acuerdo con Alva (2013), inició su construcción en el año 1200, el cual, tenía funciones de: irrigación, recreación y agua para uso doméstico. Sus restos se conservan en buen estado hasta la fecha (SEMARNAT, 2009).
- El acueducto de Chapultepec, el cual, de acuerdo con Peña y Levi (1989), data su construcción de 1418, y cuyo objetivo era llevar agua desde Chapultepec hasta el centro de la urbe. Algunos arcos todavía se pueden apreciar sobre avenida Chapultepec.
- El acueducto de Acuecuexco (Coyoacán), el cual, de acuerdo con Peña y Levi (1989), inicio su construcción en el año 1499, quedando listo en el año 1500, habiendo grandes festejos dirigido a Chalchiuhtlicue (Diosa de las aguas que se mueven), siendo sacrificados varios animales y cuatro niños de seis años.

Sin embargo, debido al crecimiento poblacional y al agotamiento del vital líquido, la sociedad se vio obligada a buscar otras fuentes alternativas para satisfacer sus necesidades hídricas. Tal es el caso específico del Sistema Lerma, un trasvase desde la cuenca del Curso Alto del Río Lerma (CARL) hacia la cuenca del valle de México. La primera etapa del SL fue construida entre 1942 y 1951, la cual incluyó la captación de manantiales y agua superficial desde Almoloya del Río, interceptando así las corrientes subterráneas de manantiales. La captación de agua subterránea se hizo a lo largo del acueducto superior,

inicialmente por medio de 75 pozos profundos, con profundidades de entre 50 y 308 m hasta los tanques de Dolores en Chapultepec, atravesando el túnel Atarasquillo-Dos Ríos (Escolero et al., 2009).

El Sistema Lerma entró en operación para abastecer de agua a la ciudad de México. En sus inicios (1951-1965), se extrajeron 4 m³/s, provocando la desaparición de algunos manantiales y la disminución de la superficie de las lagunas, como la pérdida de las lagunas de la cuna del Lerma. Cabe mencionar que algunos charcos se recuperan en temporada de lluvia (Boehm, 2003). Aunado a lo anterior, algunos terrenos se compactaron hasta convertirse en resumideros. Además, las ya peligrosas inundaciones encontraron en estos suelos campo propicio para su profundización (Vargas, 2007).

La desecación de fuentes de aguas aumentó con la construcción de presas de mayor escala como parte de la estructura de las haciendas con fines agrícolas. La calidad del agua se mantenía casi inalterada, ya que la cantidad de agua utilizada por la agricultura y otros usos eran generalmente muy inferior a la disponible, lo que permitía mantener los ecosistemas asociados a ríos y cuerpos de agua (Legorreta, 2006).

Asimismo, a partir de 1940 comenzó la instalación del corredor industrial Lerma-Toluca y dos décadas después el de Atlacomulco-Ixtlahuaca. Dichos corredores, junto con el crecimiento poblacional de la zona coadyuvaron a impactar a los sistemas de suministro de agua y drenaje (Boehm, 2003). Además, surge una economía del agua que se expresa en la compra y venta de volúmenes de agua en forma legal e ilegal (Vargas, 2007). Que de tal forma, con la rápida urbanización, crecimiento industrial en la zona, sobreexplotación de recursos hídricos subterráneos y la contaminación de los caudales superficiales, la cuenca alta del río Lerma es uno de los casos emblemáticos de la contaminación de los ríos de nuestro país (Greenpeace, 2014).

2.1.IMPACTOS DE TRASVASES

Los trasvases de agua intercuenas tienen importantes efectos ambientales, entre los que cabe destacar (MIMAM, 2000b; Balairón, 2002; Figueroa-Vega, 2004; UNESCO, 1999; Constanza et al., 1997): Abatimiento del nivel de agua subterránea (NAS) y por consecuencia, asentamientos y fracturas en el terreno, así como colapsos en la superficie;

disminución de los caudales circulantes en la cuenca cedente; cambios en los parámetros de flujo subterráneo; alteración del hábitat; alteración del régimen hídrico de la cuenca receptora, así como modificaciones de los parámetros fisicoquímicos del agua circulante y de la fauna piscícola. Si la infraestructura hidráulica necesaria para la inclusión del trasvase incluye la construcción de presas de regulación se producirán cambios en el clima, la atmósfera, superficie terrestre, suelo, vegetación, fauna, paisaje, socio economía y en el mismo recurso hídrico; además de un efecto barrera sobre las personas y la fauna ocasionada por el carácter lineal de la infraestructura del trasvase.

A pesar del reconocimiento de estos efectos del trasvase, no existe ninguna evaluación completa "*ex post*" de las repercusiones del trasvase en sus distintos ámbitos de influencia. Por ello, hay que recurrir a estudios parciales que, de manera general, permiten trazar las grandes líneas de los impactos (UNESCO, 1999).

2.2. EMERGING ACCOUNTING

Los recursos naturales pueden ser valorados desde diferentes teorías. Entre ellas, la economía ambiental proponen, darles un valor monetario a los recursos naturales (economía neoclásica). Sin embargo, la economía ambiental no considera todos los factores ambientales, por lo que, desde la perspectiva de la economía ambiental, el valor que se otorga a las cosas naturales y los servicios ambientales, como la energía acumulada en los recursos naturales está basado en valores de mercado que no representan su valor real, siendo ésta una de las razones por las que los ecosistemas del mundo están en peligro.

Sin embargo, la teoría de la economía ecológica está todavía en sus inicios, ya que las nociones biofísicas fundamentales sobre las que se articula son (Aguilera y Alcántara, 2011):

- a) El reconocimiento de la verdad elemental que expresa la Primera Ley de la Termodinámica, según la cual la materia y la energía no se crea ni se destruye, sino que sólo se transforma.
- b) La Segunda Ley de la Entropía o Segunda Ley de la Termodinámica, la cual indica que la materia y la energía se degradan continua e irrevocablemente desde una

forma ordenada a una forma desordenada independientemente de que las usemos o no.

- c) La tercera noción presenta una doble vertiente. La primera de ellas se refiere a la imposibilidad de generar más residuos de los que puede tolerar la capacidad de asimilación de los ecosistemas, por lo tanto, la destrucción de los ecosistemas y de la vida humana. La segunda advierte de la imposibilidad de extraer de los sistemas biológicos más de lo que se puede considerar como su rendimiento sostenible o renovable (Daly, 1991), pues de lo contrario acabaríamos con ellos e indirectamente con nosotros mismos.

Bajo estos principios, Odum (1996) desarrollo la teoría del emergy accounting, cuyo fin es desarrollar sociedades más sustentables, valorando los recursos naturales en una base común llamada emergía, cuya unidad de emergía so los emJoules (seJ por sus siglas en inglés).

De acuerdo con Odum et al. (2000), el dinero que se paga por los servicios proporcionados por las personas y los ecosistemas sólo llega a las personas y no a los ecosistemas. Además, y que la posibilidad de lidiar de una mejor manera con nuestro futuro dependerá de que la humanidad sea capaz de pensar sobre la energía, la economía y el medio ambiente como un solo sistema.

Después de más de cinco décadas de trabajo en ecología y teoría general de sistemas, H.T. Odum propuso un método biofísico basado en el análisis de la energía denominado emergía. Este método busca dar objetividad a la contabilidad de los servicios que proveen los ecosistemas de forma gratuita (Odum, 1996). La emergía es la suma de toda la energía de una forma, necesaria para generar un producto o servicio en unidades de un tipo particular, emJoule (seJ). La emergía es una herramienta utilizada para comparar el trabajo de la naturaleza con la de los humanos sobre una base justa y equitativa, basada en la teoría del emergy accounting (Izursa, 2011).

El emergy accounting convierte a bases termodinámicas todas las formas de energía, recursos y servicios humanos equivalentes en una sola forma de energía denominada emergy. El término “emergy” fue acuñado por David Scienceman en 1983 combinando las

palabras "embodied energy", que Odum utilizaba entonces para referirse a la energía solar total requerida para realizar un producto o suministrar un servicio (Brown y Ulgiati, 2004).

La emergía es una herramienta utilizada para evaluar la riqueza real del trabajo de la naturaleza y la sociedad en una base común que permite una comparación directa entre el flujo de dinero, energía y materiales (Odum, 1996).

Actualmente la definición de emergía es la energía disponible (exergía) de un tipo usada directa e indirectamente para realizar un producto o servicio. El análisis de emergía utiliza diagramas especiales de redes de contabilidad denominados Diagramas de Flujo de Materia y Energía (DFME) para describir las entradas locales de emergía, insumos locales no renovables e insumos comprados fuera de los límites del sistema que son necesarios para producir un producto o servicio (Odum, 1996), esto permite evaluar la emergía de un producto o un servicio.

La evaluación de la emergía cuantifica los recursos naturales y económicos, sobre una base común: los emJoules (seJ), permitiendo así la comparación entre las contribuciones naturales y económicas requeridas para producir los rendimientos (Odum, 1996).

2.3.PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES

El Pago por Servicios Ambientales (PSA) es un enfoque orientado al apoyo de las externalidades ambientales positivas, por medio de la transferencia de recursos económicos de los beneficiarios de ciertos servicios ambientales hacia quienes proporcionan dichos servicios o son fiduciarios de los recursos ambientales (Unisféra International Centre, 2004).

Desde hace algunas décadas, los instrumentos económicos y de mercado han sido de gran ayuda para gestionar (internalizar) las externalidades. La mayoría se enfocó en la prevención de externalidades “negativas” a través del uso de impuestos verdes, estándares, derechos ecológicos u otros instrumentos económicos sustentados en el principio básico de “quien contamina, paga” (Hanley et al., 1997). Sin embargo, desde finales de la década pasada y hasta la actualidad, se han desarrollado nuevos enfoques de protección ambiental basados en instrumentos económicos y de mercado, los cuales se han concentrado igualmente en la internalización de las externalidades de las de tipo “positivo”, mediante el

Pago por Servicios Ambientales (PSA), que buscan “compensar” a los generadores de estos servicios por los costos incurridos en el mantenimiento de los ecosistemas y asegurar que tales servicios ambientales se prolonguen en el largo plazo. El uso más habitual de los esquemas de PSA ha sido enfocado para la conservación de cuencas hídricas, diversidad biológica, secuestro de carbono y belleza paisajista (Unisféra International Centre, 2004).

En México, el Fondo Monarca (FM) es un programa que tiene por objeto la protección y conservación de las cuencas hidrológicas, así como la conservación de la biodiversidad, por ejemplo, la protección de la migración de la mariposa monarca. Sus fondos provienen tanto de organizaciones internacionales como es el caso del Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF), y el gobierno federal y estatal (Vega, 2015).

Mientras tanto, el pago por servicios ambientales hidrológicos (PSAH), es el pago a propietarios de áreas forestales que generan determinados servicios ambientales, principalmente de carácter hidrológico (infiltración de agua en la parte alta de una cuenca hidrográfica), y que, sin lugar a duda, benefician a otras personas (que se ubican en la parte baja de la cuenca), siendo estas últimas las encargadas de realizar los pagos para asegurarse que tales servicios hidrológicos (suministro de agua en cantidad y calidad suficientes) se mantengan en el tiempo (Chafra y Cerón, 2016).

Ejemplos de casos exitosos de PSAH se pueden encontrar en proyectos estatales en el Ecuador, como es el caso del Fondo para la Protección del Agua (FONAG), mecanismo financiero que cofinancia actividades de protección ambiental en las zonas de recarga de agua de las que se abastece la ciudad de Quito, Ecuador (Chafra y Cerón, 2016). En la actualidad, el FONAG comprende los siguientes programas: Gestión del Agua, Educación Ambiental, Capacitación, Recuperación de Cobertura Vegetal, Vigilancia y Monitoreo, y Comunicación. Cabe recalcar que estos programas y sus alcances son sometidos en el tiempo a revisión para que su adaptación responda a las dinámicas y realidades de la cuenca (Lloret, 2011).

Por su parte, la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) a partir del 2007 impulsó el programa de pago por servicios ambientales, al que la CONAFOR destina 29% de los recursos, frenando los acelerados procesos de cambio de uso de suelo en sitios estratégicos en materia de biodiversidad. Además, ha contribuido a compensar a los dueños de terrenos

forestales, con su programa ProArbol (Llano y Fernández, 2017), el cual es el principal programa federal de apoyo al sector forestal. Este programa ordena en un solo esquema el otorgamiento de estímulos a los poseedores y propietarios de terrenos para realizar acciones encaminadas a proteger, conservar, restaurar y aprovechar de manera sustentable los recursos en bosques, selvas y zonas áridas de México (Vega, 2015).

A pesar de estos casos, no existe referencia sobre un pago por externalidad debido a las afectaciones de un trasvase de agua intercuenas sobre caudales superficiales de la cuenca cedente.

3. MARCO TEÓRICO

En cuanto a la contaminación del agua, se evalúa la calidad del recurso mediante parámetros relacionados con diversos contaminantes. Con base en estos parámetros, se establece también la capacidad de asimilación y dilución de estos cuerpos de agua (Postel y Richter, 2003). Esto posibilita de valorar la calidad del agua de manera más completa y apegada a la realidad, además de conocer el estado de los ecosistemas de los ríos. (Postel, 2000). Es aquí donde cobra importancia el concepto de caudal ecológico como guía para complementar la clasificación de los cuerpos de agua superficiales, si se pretende que sigan sustentando sus ecosistemas, proporcionando el nivel adecuado de los bienes y servicios ambientales que la sociedad espera de ellos (Jiménez et al., 2005).

Es imperativo que, aunado al conocimiento del caudal ecológico, se asegure y provea un caudal a los sistemas riparios, tal como se dio en el decreto del Distrito de Riego 111, Río Presidio en Sinaloa, donde se asignaron 13 Mm³ para uso ambiental (WWF et al., 2008). Esto toma aún más importancia si se considera que 37% del territorio nacional está severamente afectado en su caudal ecológico y que 50% del país presenta circunstancias adversas en cuanto a la condición ecológica de los sistemas fluviales (Jiménez et al., 2010).

3.1.CAUDALES: BASE, MÍNIMO Y ECOLÓGICO

El flujo en caudales superficiales puede tener una configuración tan compleja como la cantidad y variedad de entradas y salidas en el cauce. Por lo tanto, debe ser estudiado desde un enfoque adecuado a la problemática. En el caso de los efectos de explotación de agua subterránea, es relevante identificar los componentes del flujo afectados.

En términos cuantitativos, la separación de un hidrograma es útil para determinar los componentes del escurrimiento originados por respuestas retardadas y suavizadas de los eventos de lluvia (Tongal and Booij, 2018). Sin embargo, el término caudal base, por sí mismo, es más una conveniencia conceptual que una descripción precisa de la naturaleza o el grado de atenuación de un flujo subsuperficial (Nathan and McMahon, 1990).

El caudal base ha sido asociado con una variabilidad de baja frecuencia de un escurrimiento (Tongal and Booij, 2018). Sin embargo, puede resultar inadecuado asociarlo de manera indiscriminada con los términos caudal mínimo y caudal ecológico.

Mientras que el caudal mínimo podría significar algo diferente para diferentes grupos de interés. De acuerdo con Smakthin (2000), para muchos puede considerarse como los flujos reales en un río que ocurren durante la temporada de estiaje, y otros pueden estar preocupados por el periodo de tiempo y las condiciones que ocurren entre eventos de inundaciones (por ejemplo, en regímenes semiacuáticos erráticos e intermitentes). Algunos otros pueden estar interesados en los efectos de los cambios en el régimen del flujo total de un río sobre el rendimiento hídrico sostenible o sobre la ecología ribereña. Estos últimos pueden percibir los “caudales mínimos” no solo como descargas que ocurren durante una estación seca, sino como una reducción en varios aspectos del régimen general del flujo.

A pesar de estas diferentes interpretaciones, se considera el caudal base como la parte del caudal que no es de escorrentía, resulta de la infiltración de agua subterránea en un canal (Capaesus y Rick, 2012). Por otro lado, el caudal ecológico es el caudal o volumen mínimo necesario en cuerpos de agua que debe conservar la cantidad, calidad y los tiempos de residencia necesarios para sostener los ecosistemas de agua dulce y de estuario, los medios de vida y el bienestar de las personas que dependen de ellos para proteger las condiciones ambientales y el equilibrio ecológico del sistema (CONAGUA, 2012; Declaración de Brisbane, 2007).

Existen diferentes métodos para evaluar un caudal base, dentro de los que cabe destacar los propuestos por el Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos (USACE, 2000):

- Caudal base mensual-constante: representa el caudal base como un flujo constante; el cual puede variar mensualmente. Es estimado empíricamente, con medidas del gasto en el canal cuando no ocurre un escurrimiento directo por precipitación.
- Modelo de recesión exponencial: usado frecuentemente para explicar el drenado de un almacenamiento natural en una cuenca. Este define la relación del caudal base en cualquier tiempo en función de un gasto inicial y una constante de recesión.

- Modelo de contabilidad de volumen lineal-reservorio: simula el almacenamiento y movimiento del flujo subsuperficial como almacenamiento y movimiento del agua mediante reservorios.

Por otro lado, de acuerdo con la NMX-AA-159 (SCFI, 2012), el caudal ecológico nunca debe ser mayor al caudal medio mensual ni menor al caudal base (figura 3.1). De esta manera, el caudal base puede formar parte del caudal ecológico. Entonces en temporada de estiaje, el caudal ecológico debe ser al menos igual al caudal base (CONAGUA, 2012).

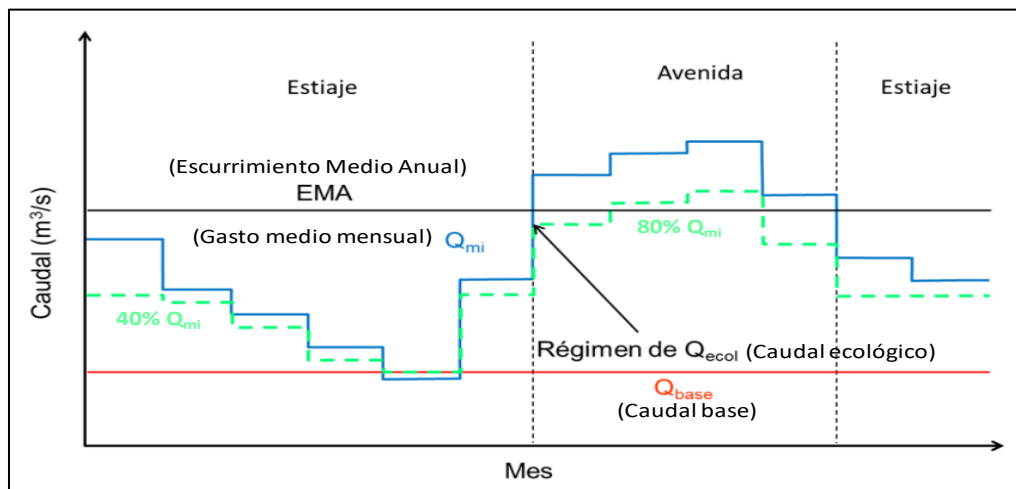


Figura 3.1. Propuesta de caudal ecológico (SCFI, 2012).

3.2.GASTO POR CONSUMO LOCAL Y GASTO DE DESCARGA LOCAL

El caudal mínimo en flujos superficiales puede ser afectado por fenómenos naturales o debido a actividades antropogénicas. Las ganancias naturales en caudales mínimos están asociadas a descargas de almacenamientos de agua subterránea, el agua contenida en suelos, almacenamientos aluviales y lagos (Smakhtin, 2001) e incluso, al derretimiento de hielo y nieve (Hopkinson and Young, 1998). Las ganancias del valor del caudal mínimo por actividades antropogénicas pueden ser principalmente debido a las descargas de agua residual de los diferentes sectores, tales como: municipales, industriales y agrícolas, así como de la presencia de dispositivos reguladores como presas (Finlayson et al., 1994).

Por otro lado, las pérdidas de origen humano están asociadas principalmente a la explotación de los recursos hídricos. En este sentido, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) proporciona una metodología que permite estimar el gasto por consumo

local y el gasto de descarga local en su Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS).

El gasto por consumo local (Q_{cl}) es la cantidad de agua que demanda una población para satisfacer sus necesidades hídricas. El gasto de descarga local (Q_{dl}) es una fracción del gasto por consumo local que regresan los usuarios al medio ambiente. El gasto por consumo local (Q_{cl}) es función de la dotación D (L/hab/día), el número de habitantes P (hab) y el tipo de clima ($^{\circ}C$), así como del nivel socioeconómico de la población (tabla 3.1; CONAGUA, 2007).

Tabla 3.1. Dotación recomendada por CONAGUA (2007).

CLIMA	CONSUMO POR CLASE SOCIOECONÓMICA (L/hab/día)		
	RESIDENCIAL	MEDIA	POPULAR
CALIDO	400	230	185
SEMICÁLIDO	300	205	130
TEMPLADO	250	195	100

Fuente: CONAGUA (2007) Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Datos básicos, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, 85 p.

El gasto por consumo local (Q_{cl}) puede ser calculado mediante la ecuación 3.1 (CONAGUA, 2007), donde Q_{cl} es el gasto por consumo local (m^3/s), D es la dotación o la cantidad de agua que demanda un habitante por día (l/hab/día), P es el número de habitantes del área en estudio, 86400 es el número de segundos que tiene un día y 1000 es la cantidad de litros de agua que caben en un metro cúbico (CONAGUA, 2007).

$$Q_{cl} = \frac{DP}{(86400)(1000)} \quad (3.1)$$

El gasto de descarga local (Q_{dl}) puede ser calculado mediante la ecuación 3.2 (CONAGUA, 2007), donde Q_{dl} es el gasto de descarga local (m^3/s), Ap es la aportación o cantidad de agua residual que descarga un habitante por día (l/hab/día), P es el número de habitantes del área en estudio, 86400 es el número de segundos que tiene un día y 1000 es la cantidad de litros que caben en un metro cúbico. La aportación (Ap), es un porcentaje de la dotación, entre 70% y 75% de la dotación por consumo local (CONAGUA, 2007).

$$Q_{dl} = \frac{ApP}{(86400)(1000)} \quad (3.2)$$

3.3.ENFOQUE DESDE LA ECONOMÍA ECOLÓGICA

Si bien resulta complejo separar los elementos que conforman un flujo superficial, más aún lo es identificar las relaciones cualitativas y su importancia con el entorno. En este sentido, la economía ecológica aborda las relaciones entre los ecosistemas y los sistemas económicos en un sentido más amplio.

La economía ecológica es una corriente del pensamiento económico con importante influencia teórica en nuestros días. Se distingue por su carácter transdisciplinario, derivado de la necesidad de estudiar la relación entre los ecosistemas naturales y el sistema económico (Foladori, 2001)

La economía ecológica tiene como objetivo extender las áreas económicas medioambientales neoclásicas y los estudios de impacto ecológico, además de alentar nuevas formas de pensar acerca de los vínculos entre los sistemas ecológicos y económicos (Costanza, 1989)

La debilidad de los planteamientos de la economía ecológica está en que basan sus argumentos en principios físicos y pretenden anexarlos al funcionamiento económico regido por leyes sociales (Foladori, 2001)

La economía ecológica es una ciencia que estudia la viabilidad en términos de sostenibilidad del modelo económico, a través de los flujos de materiales, energía y residuos que se necesitan. Por ello, la economía ecológica, no es una rama de la teoría económica, sino más bien, un campo de estudio transdisciplinario, que pretende la fusión de entre distintas áreas de conocimiento, afrontando así problemas complejos.

La economía ecológica estudia las relaciones entre el sistema natural (biosfera) y los subsistemas sociales y económico que se desarrollan en su seno, haciendo hincapié entre la inviabilidad del crecimiento económico continuo que choca con los límites físicos y biológicos de los ecosistemas. Una economía que se desarrolle dentro de los límites de la naturaleza y en términos de justicia social son centrales en la economía ecológica, en contraste a la economía convencional (Morán y área de Educación, 2017).

De esta forma, la economía ecológica sostiene que la evolución de la economía humana ha pasado de una era en la que el capital humano fue el factor limitante en el desarrollo económico, a una época en la que el capital natural restante se ha convertido en un factor limitante. Por ello, los puntos básicos de consenso de la economía ecológica son (Constanza et al., 1997):

1. La visión de la tierra como un sistema termodinámicamente cerrado y no material, con la economía humana como un subsistema del ecosistema global. Esto implica que hay límites al aprovechamiento biofísico de los recursos del ecosistema, a través del subsistema económico, y de vuelta al ecosistema como desechos;
2. La visión futura de un planeta sustentable con una alta calidad de vida para todos sus ciudadanos (tanto humanos como otras especies) dentro de las limitaciones materiales impuestas por 1;
3. El reconocimiento de que, en el análisis de sistemas complejos como la Tierra en todas las escalas de tiempo y espacio, la incertidumbre fundamental es grande e irreducible y ciertos procesos son irreversibles, requiriendo una postura fundamentalmente precautoria; y
4. Que las instituciones y la administración deberían ser más proactivas que reactivas y deberían dar lugar a políticas sencillas, adaptables y aplicables basadas en una comprensión sofisticada de los sistemas subyacentes que reconocen plenamente las incertidumbres subyacentes. Esto constituye la base para la implementación de políticas hacia un desarrollo sostenible.

Entre las corrientes que perciben al ambiente como un sistema termodinámico, se encuentra el *emergy accounting*. Esta metodología analiza las relaciones entre los componentes de sistemas antropogénicos y los recursos necesarios para mantener estos sistemas, permitiendo al mismo tiempo el cálculo de índices ambientales mediante un análisis de energía en el que todas las unidades se convierte a unidades de *emergía* (Odum, 1996).

La *emergía* es un concepto que se ha postulado como un medio para valorar adecuadamente los ecosistemas, bienes y servicios, pero también ha sido ampliamente criticado (Brown y Ulgiati, 2004; Odum y Odum, 2000).

En la organización de la geo-biósfera, el ciclo hidrológico tiene un rol especial como una de las principales formas en las que la energía solar se acopla a las energías terrestres. Por un lado, el agua tiene energía potencial química debido a su pureza relativa al agua de mar de la cual el sol y el viento destilan en vapor. Pero también, conserva energía geopotencial que depende de su elevación sobre el nivel del mar. La energía geopotencial esculpe el paisaje, distribuye los sedimentos y distribuye el agua a través de la vegetación en la llanura aluvial y los humedales costeros para que la energía potencial química sea mejor utilizada por la biodiversidad para la productividad orgánica (Odum, 1996).

Cuando la lluvia cae sobre la tierra, esta se divide en dos flujos: un componente es usado por la biodiversidad para la productividad orgánica, mientras que el flujo restante fluye aguas abajo o se almacena en aguas subterráneas. Para evaluar la emergencia, es apropiado usar un factor de conversión que se multiplica por la energía disponible usada en cada una de ellas. Para el flujo usado por la biodiversidad para la productividad orgánica, la energía utilizada es la energía libre de Gibbs (Odum, 1996). Para el agua de escorrentía, la energía consumida es la energía geopotencial convertida en trabajo por fricción del flujo de agua. Se puede calcular esta energía física usada como el producto del cambio del nivel del agua, de la densidad del agua, y de la gravedad. En algunos tipos de cuencas con arroyos convergentes, los factores de conversión aumentan a medida que el agua se acumula y converge (Odum, 1996).

El factor de conversión o valor unitario de emergencia UEV para el agua puede ser calculado mediante la ecuación 3.3, la cual es función del factor de conversión solar del agua de precipitación T^p (18,199 seJ/J), la precipitación promedio mensual P_{rcm} (m³/mes), la energía libre de Gibbs del agua de precipitación G_{fe}^p (4.94 J/g), el escurrimiento medio mensual R_m (m³/mes) y de la energía libre de Gibbs del escurrimiento medio G_{fe}^{Rm} (J/g).

$$UEV_i = \frac{T^p P_{rcm} G_{fe}^p}{R_m G_{fe}^{Rm}} \quad (3.3)$$

La energía potencial química puede ser calculada mediante la energía libre de Gibbs G_{fe} (J/g) mediante la ecuación 3.4, donde R es la constante universal de los gases ideales (8.33 J/mol K; Odum, 1996), T es la temperatura del agua en condiciones estándar (300 K), w es

el peso molecular del agua (18 g/mol), C_1 es la concentración de SDT del agua de mar (35,000 mg/L; Odum, 1996), y C_2 es la concentración de SDT del agua a estudiar (mg/L).

$$G_{fe}^i = \frac{RT}{w} \ln \left[\frac{(1 \times 10^6) - C_2}{(1 \times 10^6) - C_1} \right] \quad (3.4)$$

Debido a lo anterior, el UEV (seJ/J) del agua puede variar según la fuente de la que es extraída. Pulselli et al. (2011) proporcionan una perspectiva de la relación entre el flujo de emergía que soporta un ecosistema y los servicios que ofrecen para las actividades y bienestar de los humanos. Por un lado, existe un comportamiento directamente proporcional entre un flujo de emergía (medido en emjoules solares seJ) y el valor de los servicios ecosistémicos (medido en términos monetarios). Entre mayor sea el flujo de emergía, mayor es el valor de servicio ecosistémico (figura 3.2; denotado como caso i de acuerdo con Pulselli et al., 2001) y viceversa (caso iii; figura 3.2). Este comportamiento es observado en el incremento, o reducción, de los recursos naturales con un valor de uso directo. Por otro lado, existe un comportamiento dicotómico donde una reducción en el flujo de emergía representa un incremento en el valor del servicio ecosistémico (caso ii; figura 3.2) y viceversa (caso iv; figura 3.2). Este fenómeno puede estar asociado a la remoción o agregación de contaminantes respectivamente.

En el caso de flujos superficiales, y de acuerdo con el modelo conceptual de la evaluación de trasvase, el agua puede tener varias fuentes cuya utilidad para el usuario es diferente. Por un lado, el caudal mínimo debido al caudal base, así como el escurrimiento proveniente de la precipitación, son recursos hídricos que proporcionan servicios ecosistémicos valorados positivamente por la sociedad. Por otro lado, las descargas de aguas residuales tienen una connotación negativa en relación con servicios ecosistémicos. Sin embargo, al ser co-productos de las actividades humanas, la cantidad de emergía contenida en las aguas residuales pueden ser un reflejo en una gran proporción del estilo de vida humana (Björklund et al., 2001).

La tabla 1 muestra algunos casos que pueden ser observados en la variación de los flujos mínimos en términos de cantidad y calidad. Dado que el UEV en recursos hídricos es inversamente proporcional tanto a la recarga como a la energía potencial química del

cuerpo de agua (Buenfil, 2001; Díaz-Delgado et al., 2014), es posible deducir que es poco probable encontrar un caso donde el aumento del flujo de emergía corresponda con un aumento del valor en el servicio ecosistémico. Por otro lado, el aumento del flujo mínimo combinado con una reducción de la energía libre de Gibbs fue asociada con el caso iii. Sin embargo, dependiendo del contexto regional y socioeconómico, es posible asociarlo a un caso ii cuando el flujo de agua proporciona algún servicio ecosistémico a pesar de una menor calidad (por ejemplo, en la irrigación de cultivos).

Tabla 3.2relaci n entre el flujo de emergía y los servicios de los ecosistemas del agua del caudal mínimo.

Descripción	Caso (notación de acuerdo con Pulselli et al., 2011)
Incremento del caudal mínimo sin cambios cualitativos: bajo UEV pero alto valor de los servicios del ecosistema	ii
Mejor calidad sin cambios en el caudal mínimo: bajo UEV pero alto valor de los servicios del ecosistema	ii
Reducción del caudal mínimo sin cambios cualitativos: alto UEV pero bajo valor de los servicios del ecosistema	iv
Peor calidad sin cambios en el caudal mínimo: alto UEV pero bajo valor de los servicios del ecosistema	iv
reducción del caudal mínimo y peor calidad: alto UEV pero bajo valor de los servicios del ecosistema	iv
Incremento del caudal mínimo con peor calidad: bajo UEV y bajo valor de los servicios del ecosistema	iii

UEV: Valor unitario de emergía

* Los Cambios esperados en el caudal mínimo son mayores que los cambios de la energía potencial química. Sin embargo, esto podría representar un tipo de caso ii si se asigna un valor a los servicios del ecosistema.

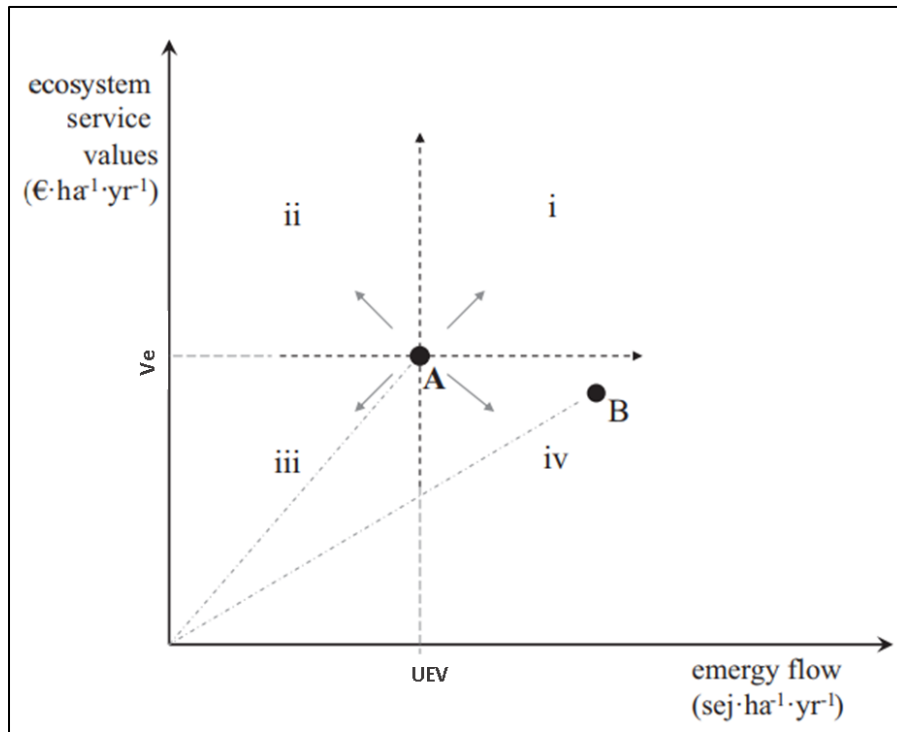


Figura 3.2. Dinámicas del ecosistema representadas por el cambio en el flujo de emergencia y el valor de los servicios del ecosistema (Pulselli et al., 2011).

3.4. ENERGÍA POTENCIAL QUÍMICA DE CORRIENTES SUPERFICIALES

La energía potencial química G_{fe}^i en corrientes superficiales puede variar según su concentración de sólidos disueltos totales (SDT). SDT es el parámetro usado para describir las sales inorgánicas y pequeñas cantidades de materia orgánica presentes en una solución de agua (World Health Organization, 1996). Los SDT son medidos como el residuo remanente después de evaporar y secar una muestra de agua previamente filtrada a través de un filtro de fibra de vidrio con poros de $1.5 \mu\text{m}$ a una temperatura de $105 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (SCFI, 2015).

La concentración de SDT presentes en el agua, puede variar según el almacenamiento de que la contenga. En la figura 3.3 Clark (2015) muestra la concentración de SDT en diferentes almacenamientos de agua.

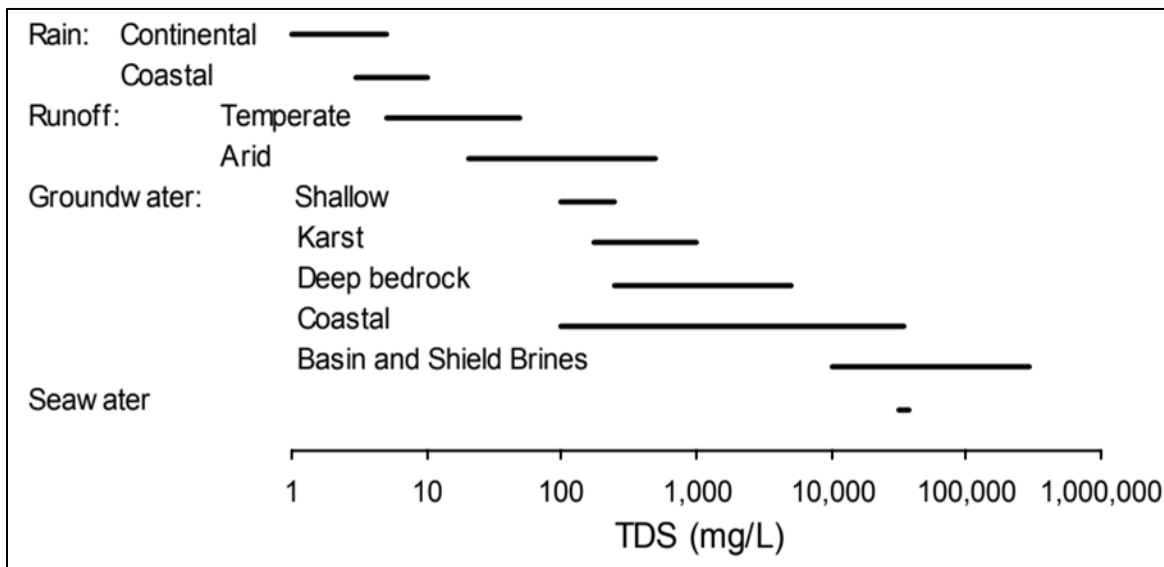


Figura 3.3. Concentraciones típicas de SDT en varias aguas a través del ciclo hidrológico (Clarck, 2015).

La concentración de SDT en un cuerpo de agua puede variar dependiendo de la existencia de elementos ajenos al agua. Diversos estudios muestran la variación de la concentración de SDT en diferentes almacenamientos de agua, como se muestra a continuación:

- De acuerdo con Odum (1996), la concentración de SDT promedio del agua de lluvia en superficie continental es de 10 mg/L. Sin embargo, esta puede variar dependiendo del lugar, clima y contaminantes entre otros factores.
- Para las aguas de deshielo del glaciar alpino suizo Langgletscher en el valle Lotshchental, Merrigan (2012), estudió 6 puntos de muestreo, obteniendo una concentración mínima de SDT de 18 ppm y una concentración de SDT máxima de 44 ppm, como se muestra en la figura 3.4. Cabe mencionar que la muestra E presenta una mayor concentración de SDT, probablemente debido a que este punto de muestreo se encuentra aguas abajo de la presa hidroeléctrica Ferden, lo cual altera las propiedades fisicoquímicas aguas abajo (Merrigan, 2012).

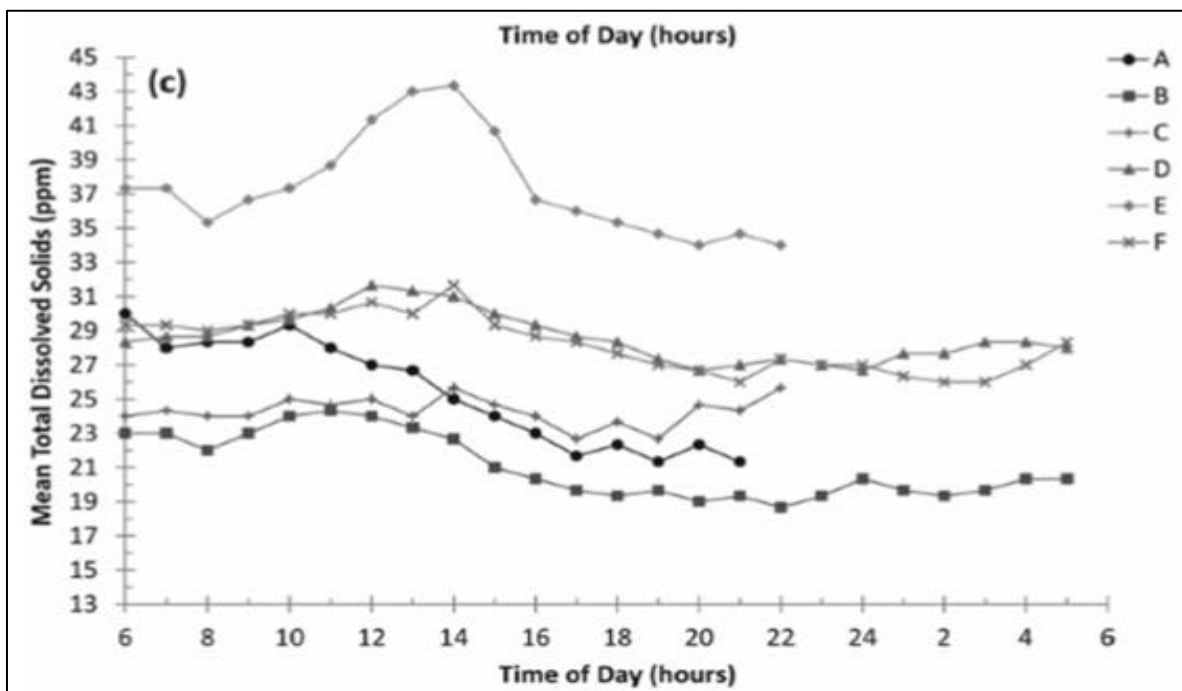


Figura 3.4. Concentración de SDT alpino suizoLanggletscher (Merrigan, 2012).

- Tuladhar et al. (2015), determinaron la concentración de SDT de agua de deshielo de los glaciares del valle Langtang, Nepal, obteniendo una concentración mínima de 4 ppm, una concentración máxima de SDT de 80.33 ppm, con un promedio de 27.47 ppm. Mientras que la concentración de SDT de aguanieve de Khimsung y el glaciar Lirung, Nepal, presento un mínimo de 4 ppm y un máximo de 35 ppm, con un promedio de 23 ppm (Tuladhar et al., 2015).
- La Organización Mundial de la Salud (WHO; 2004) menciona que una concentración de SDT para consumo humano menor a 600 mg/L puede ser considerada como aceptable. Por otro lado, que una concentración de SDT superiores a 1000 mg/L, puede ocurrir una dureza excesiva, desagradable sabor mineral y corrosión (WHO, 2004), por lo que no se recomienda para consumo humano.
- Phyllis et al. (2007) mencionan que los ríos del mundo presentan una concentración de SDT promedio de aproximadamente de 120 mg/L.
- Campbell (2009) realizó un estudio en 19 ríos de Virginia, Estados Unidos, encontrando una concentración de SDT mínima de 39 mg/L, una concentración máxima de SDT de 1830 mg/L, con una concentración promedio de 254.5 mg/L.

- Lipchin et al. (2007) estudiaron el río Jordán, al sur del lago Tiberiades en Israel, encontrando una alta salinidad, especialmente en los meses secos cuando su concentración de SDT alcanza los 3,500 ppm. Sin embargo, Farber et al. (2004) mencionan que a lo largo del río Jordán pueden encontrarse concentraciones de SDT de 406 mg/L hasta 71,034 mg/L.
- Diaz et al. (2013) mencionan que la concentración de SDT a lo largo del río principal (río Lerma) en la cuenca del CARL puede variar de 300 a 500 mg/L durante la temporada de precipitaciones y de 940 a 1525 en época de estiaje. Por otro lado, Fall et al. (2006) encontraron una concentración promedio de 401 mg/L en temporada de lluvias y una concentración de SDT promedio de 1978 mg/L en temporada de estiaje
- De acuerdo con diferentes autores, la concentración de SDT en el agua del mar muerto puede variar según el año y la altura del lugar de muestreo, como se muestra en la tabla 3.2.

Tabla 3.3. Concentración de SDT en el mar muerto (Bashitialshaaer et al., 2008).

SDT (g/kg)	Elevación (msnm)	Periodo	Fuente
225	393	1942/46	Neumann (1958)
240	395	1959/60	Neev and Emery (1967)
256-279	401	1979/80	Anati et al. (1987)

- The American Water Works Association (AWWA, 2014), así como Odum (1996) mencionan que la concentración de SDT en el agua de mar es de 35,000 mg/L.

La tabla 3.3 muestra los valores obtenidos de la energía potencial química del agua, calculada mediante la libre de Gibbs de acuerdo con las diferentes concentraciones de SDT correspondientes en cada almacenamiento.

Como se puede observar en la tabla 3.4, la energía potencial química del agua disminuye a mayor concentración de SDT, lo que indica una mayor concentración de sales y pequeña materia orgánica e inorgánica disuelta en el agua.

Tabla 3.4. Energía libre de Gibbs para diferentes almacenamientos de agua.

Almacenamiento de agua	Fuente	SDT (mg/L)	G_{fe}^i (J/g)
Lluvia	Odum (1996)	10	4.9449
Deshielo alpino suizo mínimo	Merrigan (2012)	18	4.9437
Deshielo glaciar en Nepal promedio	Tuladhar et al. (2015)	23	4.9430
Ríos del mundo promedio	Phyllis et al. (2007)	120	4.9296
Ríos de Virginia (USA) promedio	Campbell (2009)	255	4.9109
Consumo humano recomendable	WHO (2004)	< 600	> 4.8629
Consumo humano NO recomendable	WHO (2004)	> 1000	< 4.8073
Río Lerma promedio en estiaje (CARL)	Fall et al. (2006)	1,978	4.6713
Río Jordán	Lipchin et al. (2007)	3,500	4.4595
Agua de mar	AWWA (2014)	35,000	0.0000
Río Jordán	Farber et al. (2004)	46,000	-1.5916
Mar muerto	Neev and Emery (1967)	240,000	-33.1547

4. METODOLOGÍA

La metodología propuesta en el presente proyecto (figura 4.1), tiene como base la estimación de las alteraciones volumétricas y energéticas en caudales mínimos superficiales asociada a fases de explotación de agua subterránea. El análisis relativo a fases de explotación implica estimar los impactos volumétricos y energéticos en relación con una fase hipotética sin alteración (fase 0) debidos a la explotación de agua subterránea: por consumo local o por trasvase (fase 1); y la explotación simultanea por consumo local y por trasvase (fase 2). En el presente trabajo es considerado el estado natural o sin alteración de un caudal superficial actual, que no presente alteraciones debido a actividades antropogénicas, por lo que el caudal tiene la capacidad de albergar un caudal ecológico con presencia de especies endémicas o bioindicadores propios de la zona de estudio.

De esta manera, es posible asociar los impactos volumétricos y energéticos como medida para estimar un pago parcial por servicios ambientales debido a un trasvase, que puede mitigar los daños ambientales asociados. En este caso, la metodología propuesta considera como caso de estudio, el trasvase Sistema Lerma. Este trasvase desde la cuenca del Curso Alto del Río Lerma (CARL) hacia la cuenca del valle de México.

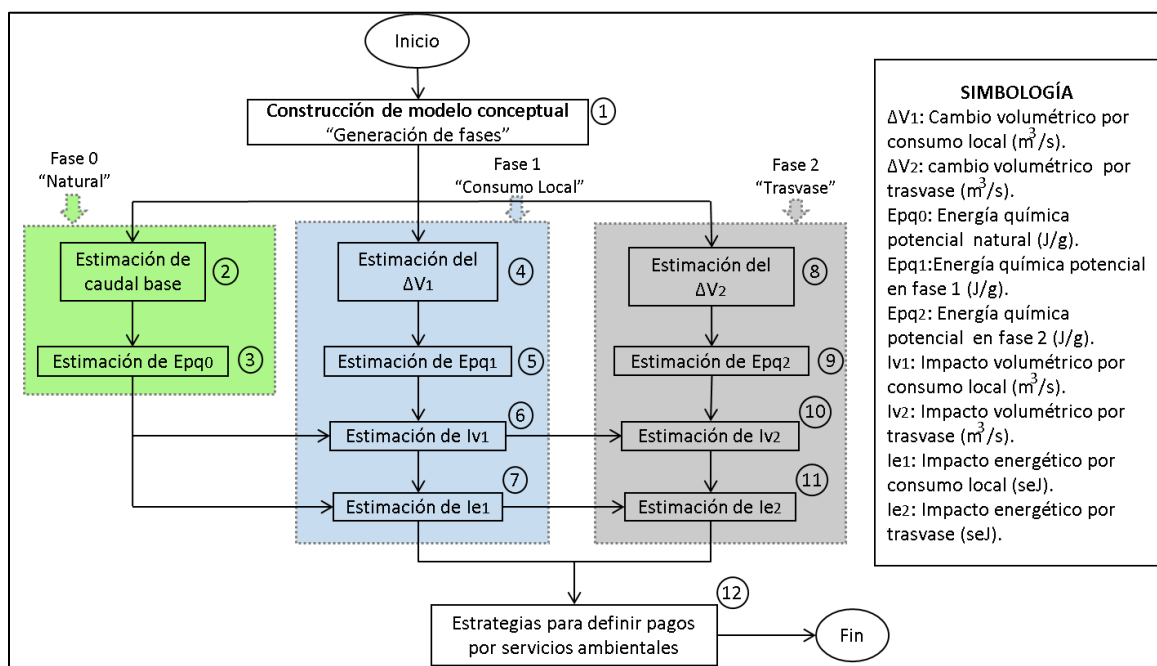


Figura 4.1. Diagrama general para el estudio de impactos volumétricos y energéticos en caudales por trasvase.

4.1.CONSTRUCCIÓN DE MODELO CONCEPTUAL

La construcción del modelo conceptual (etapa 1), considera las variables representativas de un fenómeno general de trasvase. La figura 4.2 muestra que el flujo del cauce de un río, en el cual un caudal mínimo (Q_{\min}) puede existir exclusivamente debido al caudal base (Q_b); un gasto de escurrimiento (Q_e) debido a precipitaciones (P); y un gasto de descarga local (Q_{dl}) debido a la aportación a los cuerpos de agua superficial por descargas de agua residual producto de los habitantes de la cuenca en estudio. Además, se pueden presentar aprovechamientos hidráulicos de agua subterránea por consumo local (Q_{cl}) para abastecer a los habitantes de la cuenca en estudio y/o un aprovechamiento de agua subterránea para abastecer un trasvase de agua intercuenas (Q_{tr}). Estos aprovechamientos hidráulicos impactan directamente en el nivel de aguas subterráneas, de manera indirecta puede presentarse un impacto cuantitativo y cualitativo en cuerpos de agua superficial debido a la reducción del caudal base (Smakhtin, 2001).

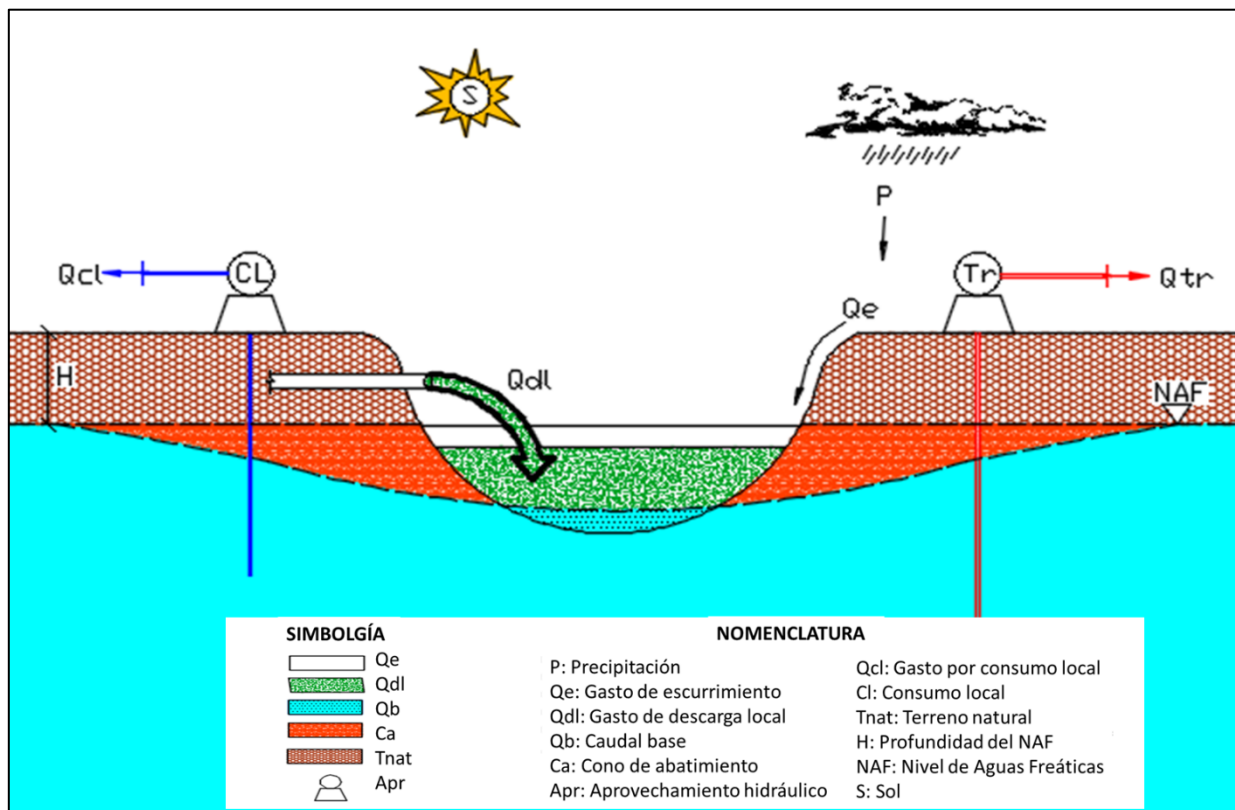


Figura 4.2. Modelo conceptual del fenómeno a estudiar.

De acuerdo con el modelo conceptual, la presencia de actores de explotación de agua subterránea (consumo local y trasvase) no necesariamente implica la explotación

simultánea. Por esta razón, el objetivo de generar fases es identificar y separar las diferentes alteraciones generadas por las variables observadas en el modelo conceptual.

De manera adicional, cada fase de explotación puede ser representada por diagramas de flujo de materia y energía (DFME) con el fin de identificar los flujos de energía asociados a cada relación funcional de las variables.

La fase inicial (fase 0), considera un estado hipotético en el que no existen alteraciones en el caudal del río debido a actividades antropogénicas (estado natural del río), por lo que el río tiene la capacidad de albergar un caudal ecológico. En el correspondiente DFME (figura 4.4) no existen subsistemas socioeconómicos. Además, es posible apreciar la diferencia entre el caudal mínimo exclusivamente debido al caudal base y el caudal ecológico por medio de las relaciones funcionales 11, 12 y 14 y 15 respectivamente.

La fase 1, además de considerar el estado natural del río (fase 0), considera extracciones de agua subterránea por consumo local (Q_{cl}) o para abastecer un trasvase intercuenas (Q_{tr}). En el DFME de la figura 4.6 se representa la existencia de extracción por trasvase. En este sentido, se aprecia el intercambio comercial destinado a: a) procesos de suministro (SP) para trasladar el agua a la cuenca receptora; b) los procesos de reutilización (RP) en cuenca receptora; c) el pago por servicios ambientales (PSA) como compensación por externalidades y; d) Mantenimiento y recuperación (MyR) de áreas forestales debido al PSA por trasvase.

La fase 2 considera los elementos tanto de la fase 0 como de la fase 1 así como las extracciones de agua subterránea simultánea, por consumo local (Q_{cl}) y por trasvase (Q_{tr}). Se considera un volumen de descarga de agua residual a cuerpos de agua superficial de habitantes de la cuenca en estudio mediante el gasto de descarga local (Q_{dl}). Este último volumen puede o no, mantener la misma calidad que el gasto extraído, aunque generalmente la calidad es menor debido a la contaminación por su uso. Sin embargo, es poco probable presenciar un gasto de retorno o descarga debido al volumen extraído en una cuenca externa (trasvase).

Por ello, en esta etapa (fase 2) son definidas las características tanto espaciales como temporales de la información requerida para estimar las relaciones funcionales entre variables, así como su aportación entre las diferentes fases (figura 4.7).

4.2. ESTIMACIÓN DE CAUDAL MÍNIMO

En el presente trabajo, el caudal mínimo mensual es considerado como lo menciona Smachtin (2001), un valor conservador del caudal mínimo. Sin embargo, para identificar las fases de explotación de agua subterránea, se propone la ponderación del caudal mínimo mensual (Ecuación 4.1) como el caudal mínimo anual $Q_{\min A}$.

El caudal mínimo anual $Q_{\min A}$ puede ser calculado mediante la ecuación 4.8, donde $Q_{\min A}$ es el caudal mínimo del año A , $Q_{\min jA}$ es el caudal mínimo del mes j en el año A , d_j es el número de días del mes j .

$$Q_{\min A} = \frac{\sum_{j=1}^{12} (Q_{\min jA}) d_{jA}}{\sum_{j=1}^{12} d_j} \quad (4.1)$$

De esta manera, y debido a las diversas causas naturales y antropogénicas que pueden afectar los caudales mínimos superficiales mínimos, es posible establecer una relación entre el gasto de trasvase y los caudales mínimos con relación tanto a la precipitación como a la descarga: $Q_{\min Ai}/P_i Q_{dli}$. Esto permite, además, evitar la necesidad de estimar un gasto de escurrimiento debido a precipitaciones.

4.3. FASE “0”

Dado que la fase 0 (figura 4.3) no presenta alteraciones debido a actividades antropogénicas, es posible considerar que el caudal mínimo es exclusivamente debido a las aportaciones del agua subterránea a los cuerpos de agua superficial (caudal base; etapa 2). Además, el caudal de río tiene la capacidad de albergar un caudal ecológico.

El caudal mínimo de la fase 0 representa la relación funcional 11 de la figura 4.4, correspondiente al flujo energético (relación funcional 12) asociado al UEV (ecuación 3.3). La relación cualitativa entre estos flujos está dada por la energía potencial química G_{fe}^i estimada mediante la ecuación 3.4 (etapa 3 de la metodología).

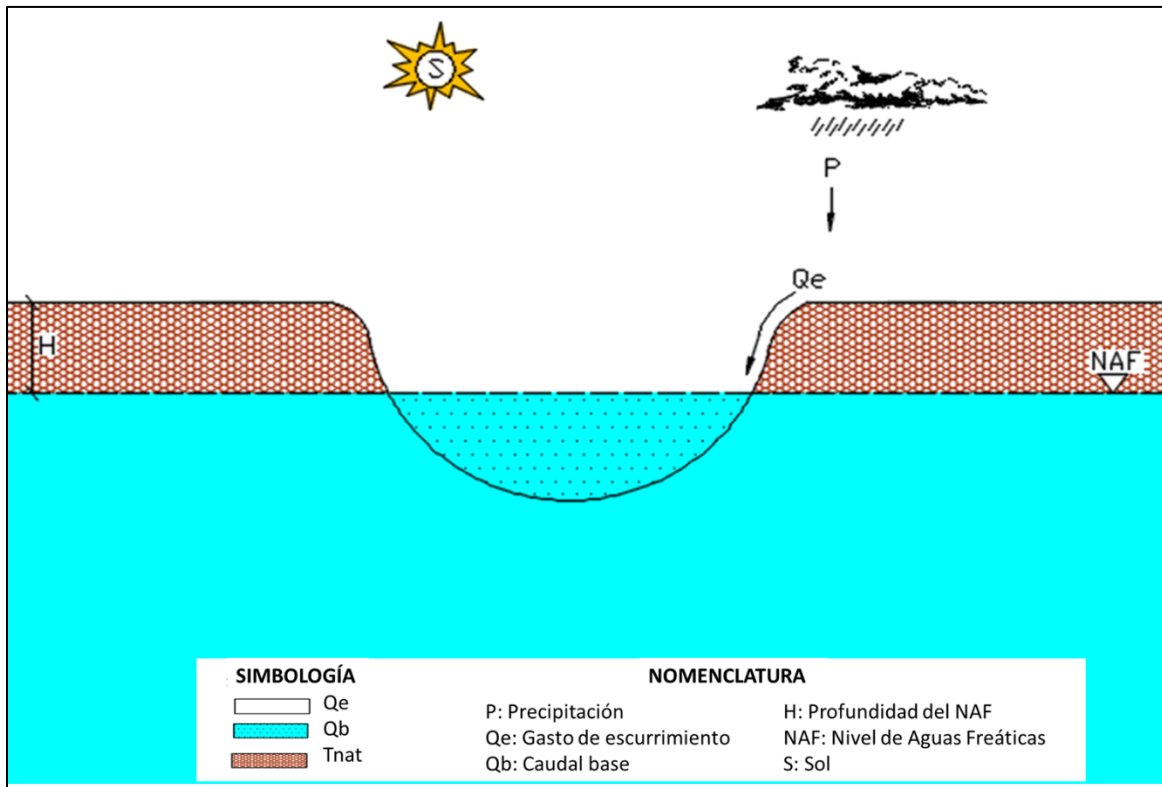


Figura 4.3. Modelo conceptual de Fase 0.

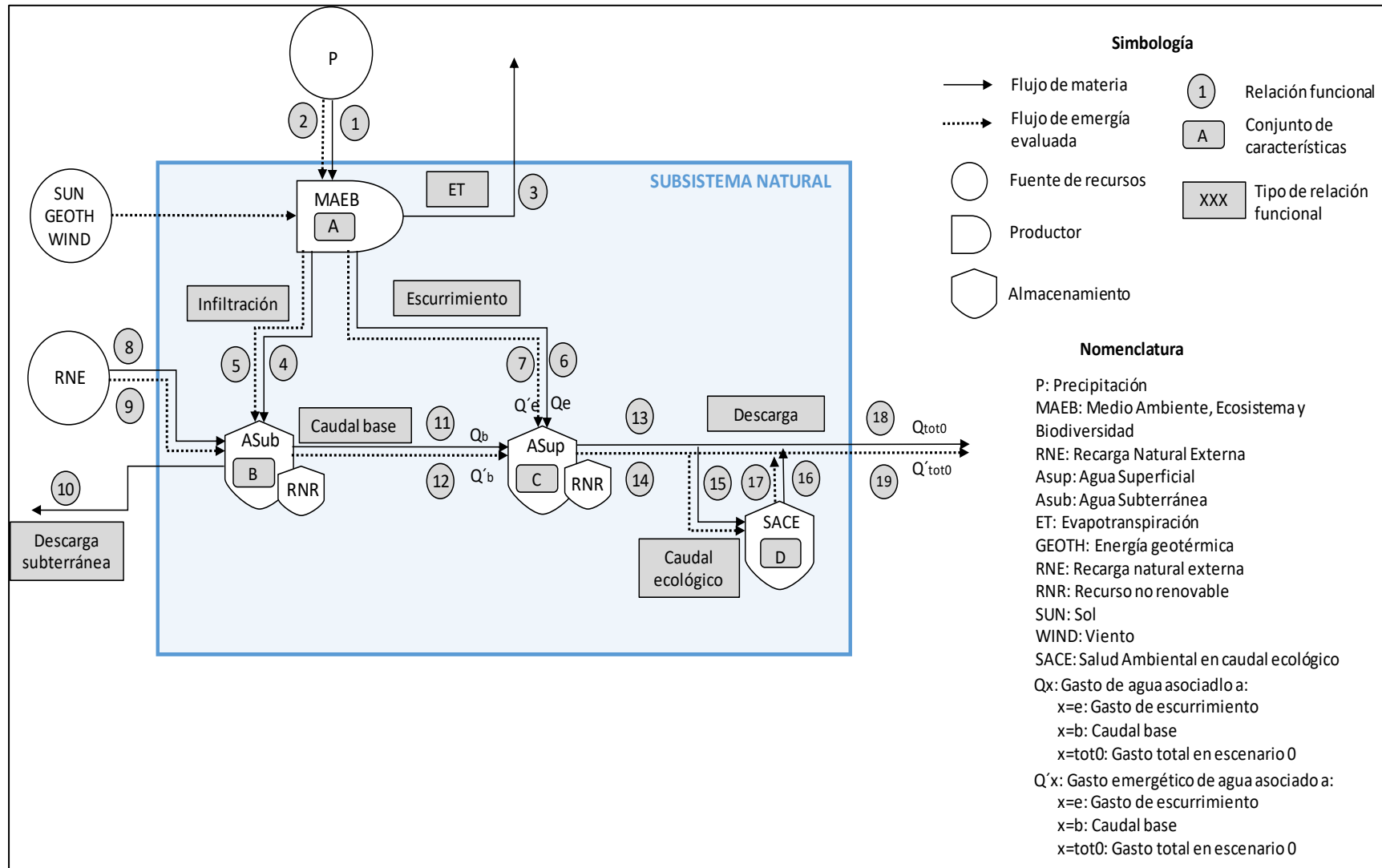


Figura 4.4. Diagrama de flujo de materia y energía de la fase 0.

4.4.FASE “1”

En la fase 1 (Figura 4.5), se presentan las variables de la fase 0, más un gasto de extracción de aguas subterráneas por consumo local (Q_{cl}) o por trasvase (Q_{tr}), más un gasto de descarga local (Q_{dl}).

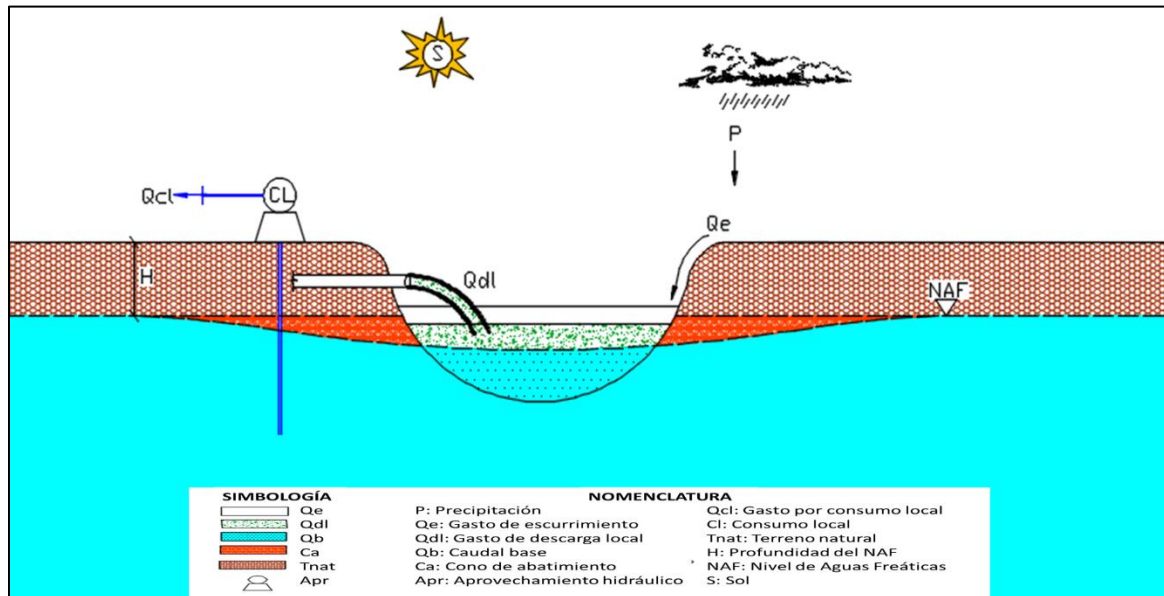


Figura 4.5. Modelo conceptual de Fase 1.

A partir del DFME de la figura 4.6, la intervención de un subsistema socioeconómico (cuenca cedente o receptora) implica la generación de procesos de suministro para trasladar y tratar el agua. Estos procesos, que requieren energía en forma de bienes y servicios son factores de debido a externalidades generadas en los caudales superficiales. Por lo tanto, las relaciones funcionales 11 y 12, dependen directamente del gasto de agua subterránea extraída. En el caso del consumo local, es posible asociarlo a la ecuación 3.1. Sin embargo, si la extracción es por trasvase, este puede ser obtenido mediante los registros mencionados por Torres (2014).

En el caso del consumo local, un porcentaje de este gasto regresa hacia los cuerpos de agua superficial después de haber sido usado por habitantes de la cuenca como gasto de descarga local Q_{dl} (relaciones funcionales 18 y 19). Este flujo volumétrico debe ser agregado a los caudales que llegan hasta el gasto total. Por ello, el caudal mínimo $Q_{mín}$ es modificado en función de la explotación por consumo local o por trasvase y el gasto de descarga local Q_{dl}

(etapa 4). El gasto de descarga local (Q_{dl}) puede ser estimado como un porcentaje de la dotación de agua (CONAGUA, 2007) mediante la ecuación 3.2.

En el presente trabajo, el gasto de demanda o gasto por consumo local, es decir el gasto de extracción de agua subterránea, considera el gasto de demanda para uso doméstico (73.47%), el gasto demandado por la industria (23.10%) y el gasto demandado para uso agrícola (3.43%) dentro de la cuenca del CARL.

La energía potencial química (etapa 5 y 9) puede ser estimada mediante la ecuación 3.4 de manera análoga a la fase 0, tomando en cuenta una concentración C_2 de sólidos disueltos totales ponderada si el caudal mínimo (Q_{min}) es mayor al gasto de descarga local (Q_{dl} ; ecuación 3.2). En este caso, existen aportaciones del caudal base (Q_b), por lo que, la concentración de SDT es función de la concentración de SDT en el caudal base (c_{cb}) y en el gasto de descarga local (C_{dl}).

Los factores de ponderación son el gasto del caudal base (Q_{min}) y del gasto de descarga local (Q_{dl}) que fluye en el río en la fase i (en este caso la fase i es la fase 1). Si el gasto de descarga local es mayor al caudal mínimo, entonces el caudal en el río se debe exclusivamente a las descargas de agua residual de habitantes dentro de la cuenca, por lo que la concentración de SDT sería igual a la concentración de SDT por descarga local (ecuación 4.2).

$$c_2 = \begin{cases} \text{si } Q_{min} > Q_{dl}, C_2 = \frac{(Q_{min}-Q_{dl})(c_{cb})+Q_{dl}(C_{dl})}{Q_{min}} \\ \text{si } Q_{min} \leq Q_{dl}, C_2 = C_{dl} \end{cases} \quad (4.2)$$

En la fase 1 se propone evaluar el impacto volumétrico I_{v1} (etapa 6) mediante la ecuación 4.3, donde I_{vi-0} es el impacto volumétrico de la fase i (fase 1) con respecto a la fase 0, V_i es el volumen de agua promedio mensual en la fase i (fase 1) y V_0 es el volumen de agua promedio mensual en la fase 0. Si el I_{vi-0} es negativo, se pueden inferir las afectaciones de la explotación de agua subterránea por trasvase y/o por consumo local en el caudal base. Si I_{vi-0} es mayor a 0, se puede inferir que se tiene un mayor volumen en comparación con la fase 0. Sin embargo, este incremento volumétrico muy probablemente es debido a las aportaciones del gasto de descarga local Q_{dl} .

$$I_{vi-0} = V_i - V_0 \quad (4.3)$$

Basados en el enfoque de Pulselli et al. (2011), es posible representar los impactos energéticos como la variación de la energía potencial química a partir de un punto de control (etapa 5 y 6). En el presente estudio, el impacto energético I_{ei} de la fase i (ecuación 4.4) es estimado como la diferencia entre la energía potencial química en la fase i y la fase 0.

Se propone evaluar el impacto energético de la fase 1 con respecto a la fase 0 I_{e0-i} (etapa 7 y 11), mediante la ecuación 4.4, ρ es la densidad del agua ($1E+6 \text{ g/m}^3$), $Q_{\min 0}$ es el gasto mínimo en la fase 0 (m^3/s), $G_{fe 0}$ es la energía potencial química o la energía libre de Gibbs en la fase 0 (J/g), $Q_{\min i}$ es el gasto mínimo en la fase 1 (m^3/s) y $G_{fe i}$ es la energía libre de Gibbs en la fase 1.

$$I_{e0-i} = \rho(Q_{\min 0}G_{fe 0} - Q_{\min i}G_{fe i}) \quad (4.4)$$

Cabe mencionar que es esperado un impacto energético positivo, ya que debido al incremento en la concentración de SDT, la energía potencial química $G_{fe i}$ sería menor, salvo que el gasto mínimo $Q_{\min i}$ aumente considerablemente.

Si existe una relación entre el valor energético de la fase i y de la fase 0 de la forma $V_{e0} > V_{ei}$, el impacto energético conserva una connotación negativa, incluso si se presenta un impacto volumétrico positivo. Estas condiciones (caso iv), al igual que el caso iii, donde se presenta un incremento de Q_{\min} pero una disminución del G_{fe}^i derivan en una pérdida de utilidad monetaria

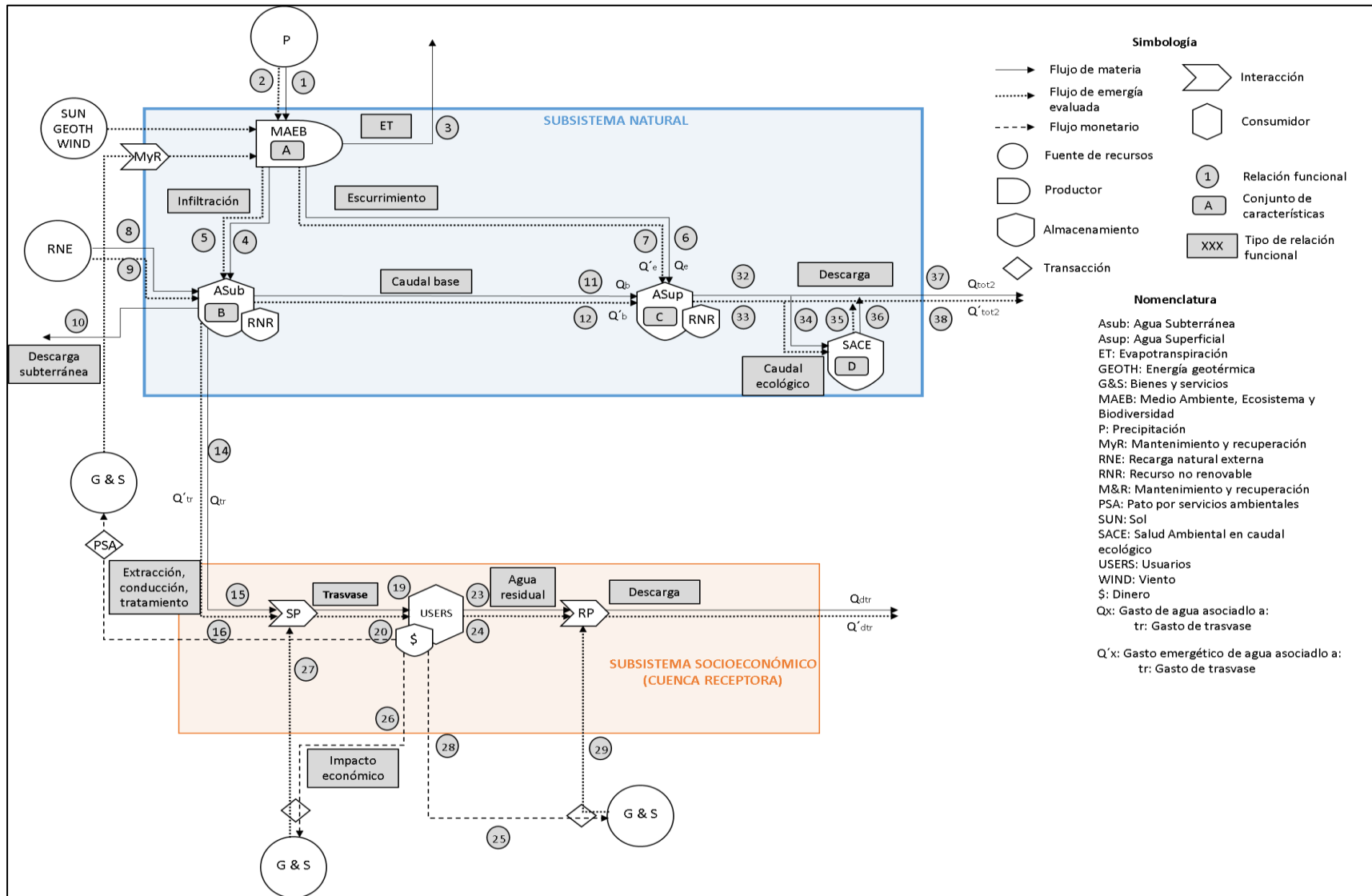


Figura 4.6. Diagrama de flujo de materia y energía de la fase 1.

4.5.FASE “2”

En la fase 2 se presentan todos los elementos observados en el modelo conceptual de un trasvase (figura 4.2). En el DFME de esta fase (figura 4.7), se aprecian las condiciones de la fase 1, más un aprovechamiento de agua subterránea simultánea, por consumo local Q_{cl} , en conjunto con un aprovechamiento por trasvase Q_{tr} . Debido a la falta de un gasto de retorno desde el trasvase, tanto el caudal mínimo como el valor de emergía de los recursos hídricos son estimados de manera análoga a la fase 1. Cabe resaltar que es esperada una disminución del caudal mínimo en relación con la fase 1 debido a la explotación de agua subterránea por consumo local y por trasvase (etapa 8 y 9). Sin embargo, si el caudal mínimo aumenta, este incremento puede ser debido a las descargas de agua residual de la población dentro de la cuenca del CARL hacia cuerpos de agua superficial, la cual usualmente no tiene un previo tratamiento.

En esta fase, se pretende evaluar el impacto volumétrico I_{v2} (etapa 10) mediante la ecuación 4.3 que se describe para la fase 1, comparando el volumen mensual acumulado en la fase 2, menos el volumen mensual acumulado en la fase 1 y/o en la fase 0. Sin embargo, si el impacto volumétrico resulta mayor a cero, esto representaría una mayor aportación del gasto de descarga local, indicando una mayor concentración de SDT debido a contaminantes. Por lo tanto, el agua tendría una menor energía potencial química y por ende menor capacidad para albergar un caudal ecológico.

El impacto energético (etapa 11) se evalúa de manera análoga a la fase 1 (ecuación 4.4), considerando la ecuación 4.2 para estimar una concentración de SDT ponderada C_2 . Para lo cual, se podría esperar una mayor concentración de SDT, debido a la disminución del volumen de agua para diluir y el incremento de las descargas de agua residual.

El impacto energético de la fase 2 I_{e0-i} (etapa 11), se propone ser evaluado de manera análoga a la fase 1, mediante la ecuación 4.4, donde I_{ei-0} es el impacto energético de la fase 2 con respecto a la fase 0.

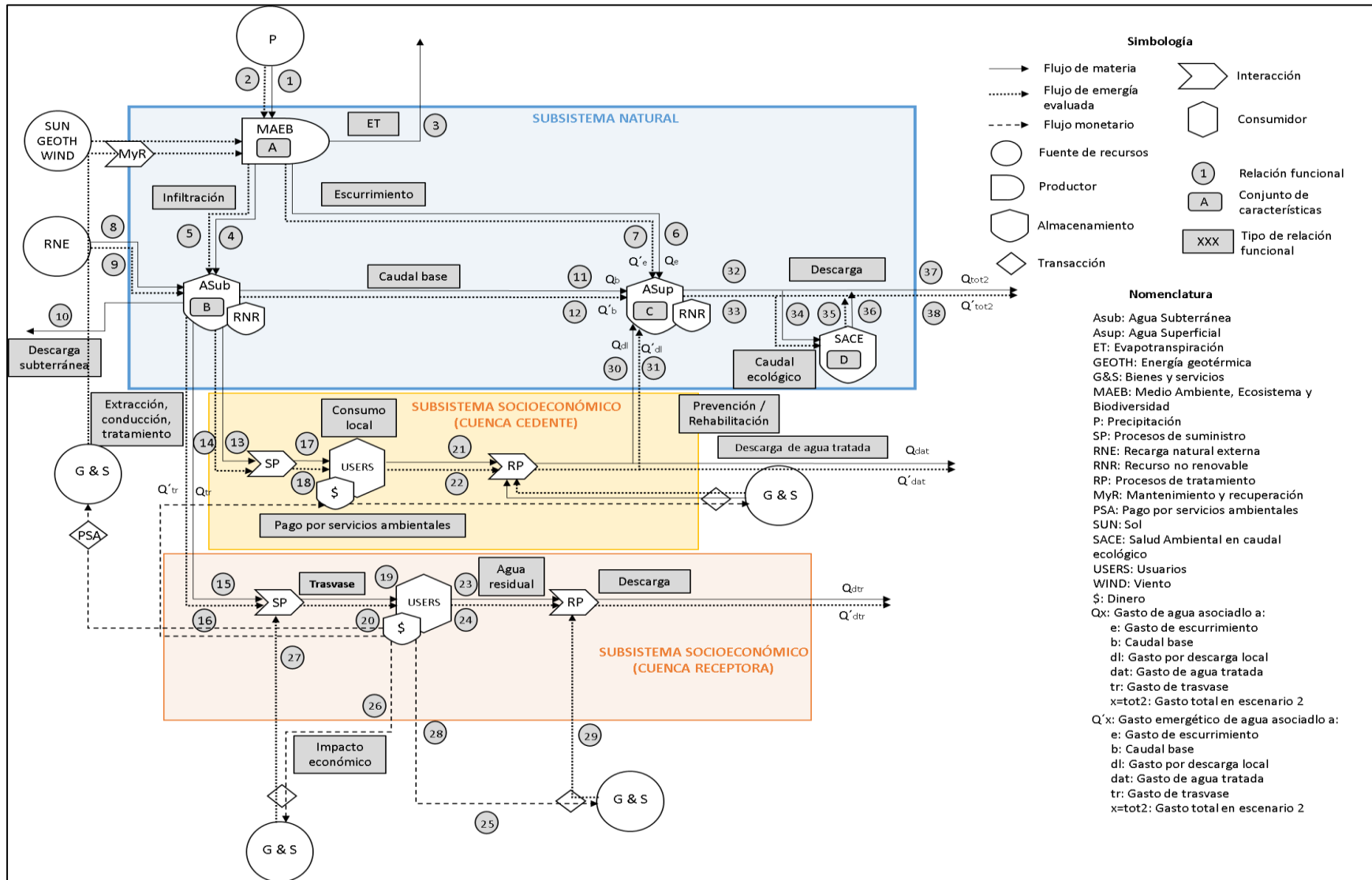


Figura 4.7. Diagrama de flujo de materia y energía de la fase 2.

4.6.PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES

En la etapa 12, se emplea la información obtenida en etapas anteriores para proponer un PSA (una compensación por una externalidad) debido a los impactos volumétricos y energéticos de un trasvase en caudales superficiales. Este pago es propuesto, en primera instancia, para mejorar las condiciones del río principal de la cuenca cedente, con el fin de alcanzar las condiciones iniciales del caudal que pueda albergar un caudal ecológico asociado a alguna especie endémica o bioindicador propio de la zona de estudio.

Por ello, es necesario contar con un factor de conversión entre las unidades energéticas (emJoules solares) y la moneda de cambio (USD). En este sentido, la riqueza económica directa e indirectamente proviene del medioambiente, recursos evaluados por la emergía (Odum, 1996). Dado que el dinero circulante en la economía depende de la producción de la emergía y el flujo de dinero (Odum, 1996), el poder adquisitivo del dinero en promedio depende de que tanta riqueza real (recursos naturales) hay por comprar.

Bajo esas ideas, el presente trabajo considera al Emdollar como un factor de conversión que representa a larga escala las condiciones de una economía, incluyendo al medioambiente e información, así como bienes y servicios humanos. Al tomar decisiones que maximicen el emdollar, maximiza la emergía de producción y uso, resultando en una economía más sustentable y más competitiva (Odum, 1996).

La emergía por unidad de dinero (seJ/\$) mide el poder adquisitivo de la riqueza real y se utiliza para calcular los emdolares, es decir, el equivalente económico de la emergía (Odum, 1996). En los recursos naturales, los emdolares indican su contribución a la economía humana. La relación emergía/dinero varían mucho entre las naciones, pero las políticas públicas en cualquier escala pueden ser exitosas maximizando los emdolares. Este trabajo empleará el cálculo y uso los emdolares del recurso hídrico, para la evaluación de los impactos volumétricos y energéticos en el caudal mínimo del río Lerma, ubicado dentro de la cuenca del Curso Alto del Río Lerma (CARL). Dicha zona se consideró debido a la extracción de agua subterránea para abastecer al trasvase de agua intercuenas conocido como Sistema Lerma (SL).

En el presente trabajo, el emdollar es usado para valorar económicamente al caudal mínimo en función de la explotación de agua subterránea. Por lo que, para estimar el valor económico emergía presente en el caudal mínimo (Ve), se requiere conocer la relación de la emergía circulante en el país (México) con respecto a su producción económica ($Ratio\ Energy/Money$), la cual de acuerdo con Brown and Bardi (2001) tiene un valor de 2.86×10^{12} (seJ/\$USD).

La ecuación 4.5 calcula el impacto económico I_{eci} (USD/mes) asociado a la emergía del caudal mínimo, donde UEV_{med} es el valor unitario de emergía promedio del escurrimiento medio, I_e es el impacto energético (J/mes), el $Ratio\ Energy/Money$ es la relación de emergía circulante en México con respecto a la producción económica (SeJ/USD)

$$I_{eci} = \frac{UEV_{med}}{Ratio\ \frac{Energy}{Money}} (I_e) \quad (4.5)$$

4.7.ZONA DE ESTUDIO

La cuenca del Curso Alto del Río Lerma (CARL) es una subcuenca de la cuenca Lerma-Chapala-Santiago, una de las cuencas más importantes de la República Mexicana, la cual se localiza en el estado de México, al poniente de la Ciudad de México (CDMX), es el lugar donde inicia el río principal de la cuenca (Río Lerma) del CARL.

La cuenca del CARL se localiza entre los 19° 03' y 19° 34' de latitud norte y los 99° 18' y 99° 51' de latitud oeste (Figura 4.8), al norte se encuentra el exutorio del río principal de la cuenca (río Lerma) en la presa José Antonio Alzate, limita en esta presa con el valle de Ixtlahuaca y al este en la Sierra de las Cruces con la cuenca del Valle de México, al suroeste en el nevado de Toluca (Xinantécatl) con la cuenca del Balsas,.

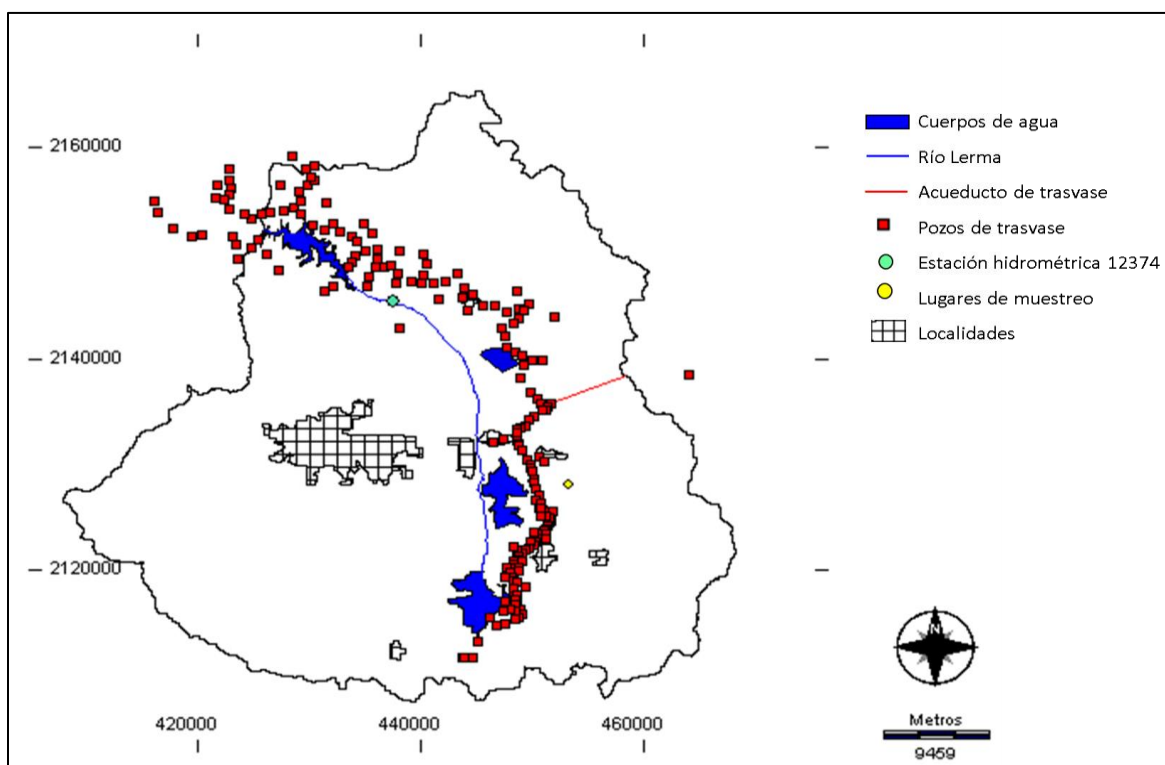


Figura 4.8. Ubicación de la cuenca del CARL.

Las características fisiográficas (tabla 4.1) de la cuenca fueron obtenidas a partir del tratamiento geomático de modelos digitales de elevación, usando softwares avanzados como TerrSet y Google Earth, bajo los métodos proporcionados por Díaz et al. (1999), usando un modelo digital de elevación proporcionado por USGS (2017).

A partir del tratamiento geomático de modelos digitales de elevación, se encontró que la cuenca del CARL tiene un área aproximada de 2085.428 km^2 , un perímetro de aproximado de 309.82 km, con una longitud del río principal (río Lerma) de 48.77 km (tabla 4.1).

El coeficiente de compacidad, definido por Gravelius (1861-1938) como la relación entre el perímetro de la cuenca y la circunferencia de un círculo que tenga la misma superficie de la cuenca (OMM, 1996), resultó de 1.91. La relación de circularidad, el cual es el cociente entre el área de la cuenca y la de un círculo cuya circunferencia es equivalente al perímetro de la cuenca, resultó de 0.273. La altura máxima registrada fue de 4,533 metros sobre el nivel del mar (msnm) en el nevado de Toluca (Xinantécatl). La altura mínima registrada en la cuenca fue en la presa Alzate con una altura de 2,583 msnm, presentando una altura media de 2,849 msnm. La relación de elongación, definido por Schumm como la relación entre el diámetro de un círculo que tenga la misma superficie de la cuenca y la longitud

máxima de la cuenca (distancia desde el exutorio de la cuenca hasta el punto más alejado de la cuenca), resultó de 1.056, por lo tanto, a partir de este valor se puede inferir que la cuenca es plana con algunas áreas accidentadas. El ángulo medio de inclinación y la pendiente media obtenida para la cuenca del CARL fue de 5.967 grados y de 10.66% respectivamente (tabla 4.1).

Tabla 4.1. Características fisiográficas de la cuenca del CARL.

Parámetro	Símbolo (unidades)	Medidas
Área	A (km ²)	2,085.428
Perímetro	P (km)	309.82
Longitud del río principal	L (km)	48.77
Coeficiente de compacidad	kc	1.91
Relación de circularidad	Rci	0.273
Elevaciones Características	H max (msnm)	4,533
	H (msnm)	2,849
	H mín (msnm)	2,538
Relación de elongación	Re	1.056
Pendiente	Pend (grds)	5.967
	Pend (%)	10.66

La cuenca del CARL está conformada por 27 municipios, de los cuales 21 de ellos tienen su cabecera municipal dentro de la cuenca del CARL, el resto se encuentran parcialmente dentro de la cuenca con sólo algunas de sus localidades dentro de la cuenca del CARL. Sin embargo, para fines de este trabajo de investigación, se realizó una búsqueda exhaustiva para obtener el total de la población que habita dentro de la cuenca del CARL.

La figura 4.9 muestra los municipios que se encuentran dentro de la cuenca del CARL, de los cuales, se realizó una búsqueda del total de la población que habita dentro de la cuenca del CARL, para poder determinar el gasto por consumo local (Q_{cl}), así como el gasto de descarga local (Q_{dl}) de la población dentro de la cuenca del CARL.

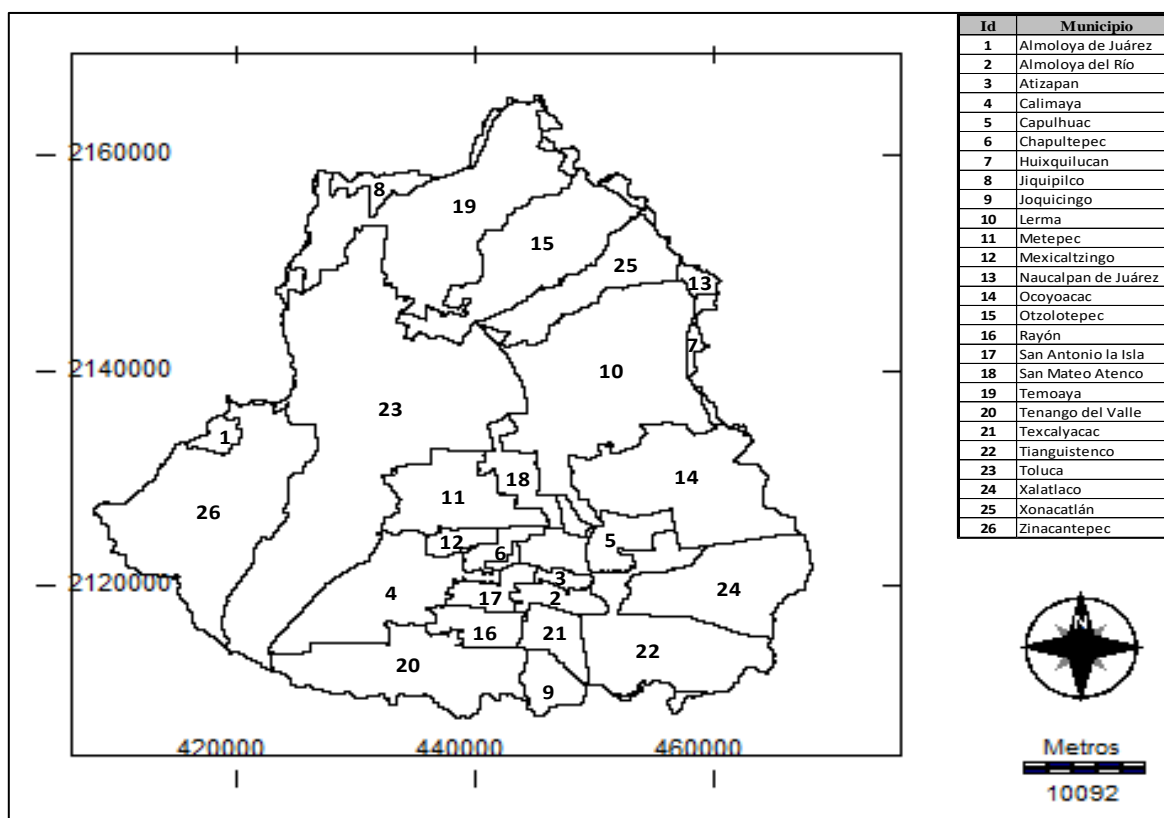


Figura 4.9. Ubicación de municipios dentro de la cuenca del CARL.

En el año 1930, año en que inicia el periodo de estudio del presente trabajo, la cuenca del CARL presentó una población de 241,685 habitantes, para el año 2010, la población asentada dentro de la cuenca del CARL había aumentado un 741 %, teniendo una población de más de 2 millones de habitantes, asentados en los 26 municipios y localidades que conforman el área de la cuenca del CARL.

La tabla 4.2 muestra el total de población dentro de la cuenca del CARL desde 1930, cuando la población era de tan sólo 241,685 habitantes, hasta el año 2010, cuando la población creció a 2,033,385 habitantes asentados dentro de la cuenca del CARL. De acuerdo con los censos realizados, en ciertos lugares ha existido un crecimiento poblacional, mientras que, en otros la población ha disminuido, tal es el caso de las localidades del municipio de Joquicingo dentro de la cuenca del CARL, que en 1980 contaba con 3,395 habitantes y para 1990, la población se redujo a 3,201 habitantes.

La reducción de la población se debe a la migración, un elemento importante en el cambio demográfico. La migración ofrece oportunidades para las personas que se desplazan y

conlleva un gran potencial para las economías, dado el enorme impacto macroeconómico de las remesas. Sin embargo, también implica riesgos como la fuga de capital humano, la desintegración familiar y una fuerte desprotección, más aún cuando se refuerza la selectividad de los inmigrantes (ONU, 2005).

Tabla 4.2. Poblacional dentro de la cuenca del CARL a lo largo del tiempo.

Año		Población dentro de la cuenca del CARL a lo largo del tiempo										
		1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	1995	2000	2005	2010
Municipio												
1	Almoloya de Juárez	2,316	2,887	3,765	4,539	6,826	8,025	10,595	12,646	14,271	18,903	22,727
2	Almoloya del Río	2,441	2,702	2,985	3,387	3,714	6,193	6,777	7,729	8,873	8,939	10,886
3	Atizapan	1,524	1,559	1,811	2,250	3,001	5,072	5,339	7,147	8,172	8,909	10,299
4	Calimaya	8,252	9,871	11,007	12,335	15,666	21,876	24,906	31,902	35,196	38,770	47,033
5	Capulhuac	8,032	7,152	8,160	9,609	12,350	18,257	21,258	25,900	28,808	30,838	34,101
6	Chapultepec	1,093	1,201	1,460	1,531	1,909	3,675	3,863	5,163	5,735	6,581	9,676
7	Huixquilucan	SR	SR	SR	SR	SR	179	926	1,408	1,827	2,173	2,452
8	Jiquipilco	SR	SR	SR	SR	SR	369	517	628	668	724	874
9	Jocuicingo	1,423	1,460	1,710	1,984	2,352	3,395	3,201	4,494	5,537	4,672	5,928
10	Lerma	15,511	17,300	23,631	27,814	36,071	57,219	66,912	81,192	99,870	105,578	134,799
11	Metepec	13,701	15,460	17,254	18,915	31,724	83,030	140,268	178,096	194,463	206,005	214,162
12	Mexicaltzingo	1,941	2,032	2,416	2,897	4,037	6,079	7,248	8,662	9,225	10,161	11,712
13	Naucalpan de Juárez	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	55	1,169
14	Ocoyoacac	9,770	10,255	12,423	14,574	19,364	33,952	37,395	43,670	49,643	54,224	61,805
15	Otzolotepec	10,799	12,921	15,463	15,990	20,203	29,112	40,407	49,264	57,583	67,611	78,146
16	Rayón	1,891	2,080	2,657	3,063	3,831	5,888	7,026	8,300	9,024	10,953	12,748
17	San Antonio la Isla	2,217	2,414	2,684	2,794	4,252	9,504	7,321	9,118	10,321	11,313	22,152
18	San Mateo Atenco	6,528	7,267	9,216	11,987	18,140	33,719	41,926	54,089	59,647	66,740	72,579
19	Temoaya	11,480	14,903	19,743	23,131	30,192	34,120	49,427	60,851	69,306	77,714	90,010
20	Tenango del Valle	17,137	18,187	20,972	24,628	29,091	38,381	45,952	54,789	65,119	68,669	77,965
21	Texcalyacac	1,209	1,417	1,342	1,222	1,604	2,381	2,961	3,744	3,997	4,514	5,111
22	Tlanguistenco	10,423	13,385	15,927	19,688	24,600	37,017	42,448	51,149	58,381	64,365	70,682
23	Toluca	89,895	97,962	115,019	156,033	238,438	357,071	486,518	563,246	664,928	745,496	817,438
24	Xalatlaco	3,568	4,231	4,965	5,047	7,625	11,877	13,813	17,362	19,018	19,780	26,647
25	Xonacatlán	5,598	7,325	8,592	10,600	15,237	18,546	28,837	36,141	41,402	45,274	46,331
26	Zinacantepec	14,936	17,124	21,921	26,617	38,798	51,769	69,383	87,982	100,811	118,681	145,953
Población total en CARL=		241.685	271.095	325.123	400.635	569.025	876.706	1.165.224	1.404.672	1.621.825	1.797.642	2.033.385

Elaboración propia con datos de (Secretaría de la Economía Nacional (1930, 1940), Secretaría de Economía (1950), Secretaría de Industria y comercio (1960, 1970) y por el INEGI (1980, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 y 2015).

Sin embargo, la mayor parte de la población asentada dentro de la cuenca del CARL, descargan sus aguas residuales hacia los tributarios del río Lerma. Estudios recientes sobre

la cantidad y calidad de los tributarios del río Lerma dentro de la cuenca del CARL, muestran que la mayor parte del agua que fluye en estos son debido a actividades antropogénicas. Tejeda et al. (2014) muestran un balance de masa de los tributarios del río Lerma dentro de la cuenca del CARL, proponiendo la implementación o mejora de procesos de. La tabla 4.3 muestra el gasto encontrado por Tejeda et al. (2014) en los tributarios estudiados en el mes de marzo de 2006.

Tabla 4.3. Balance de masa de tributarios del río Lerma.

Tributarios de Balance de Masa		Q_{BM} (L/s)
1	Carretera Mex-Tol	591
2	RECICLAGUA	450
3	Ameyalco	95
4	El Llanito	45
5	Atarasquillo	10
6	Canal Totoltepec	1000
7	Xonacatlán	95
8	Toluca-Norte	1250
9	Santa Catarina	520
10	San Lorenzo	0
11	Verdiguel	100
12	Tejalpa	426
13	Temoaya	28
14	Villa Cuauhtémoc (12374)	4109

El deterioro cualitativo de los caudales superficiales de la cuenca del CARL ha dado origen a la pérdida de especies acuáticas, tal es el caso del Trichoptera, la cual es una especie usada como indicador biológico de la buena calidad del hábitat de agua dulce (Bueno, 2004), así como el *girardinichthys multiradiatus*, considerada como una especie endémica por la NOM-059 (SEMARNAT, 2010), y declarada por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza como vulnerable (Meek, 1904).

4.7.1.CLIMA

La cuenca del CARL presenta tres subgrupos predominantes de climas (INEGI, 2017; figura 4.10), los cuales, de acuerdo a la clasificación de Köppen modificado por Enriqueta García (1965) son: semifrío de los templados (C(E)(w2)), templado de los templados (C(w2)) y templado de los templados (C(w2)(w)). La mayor área y la mayor concentración

de población se encuentra en el subgrupo templado de los templados (C(w2)), el cual tiene una temperatura media anual de entre 12 y 18°C.

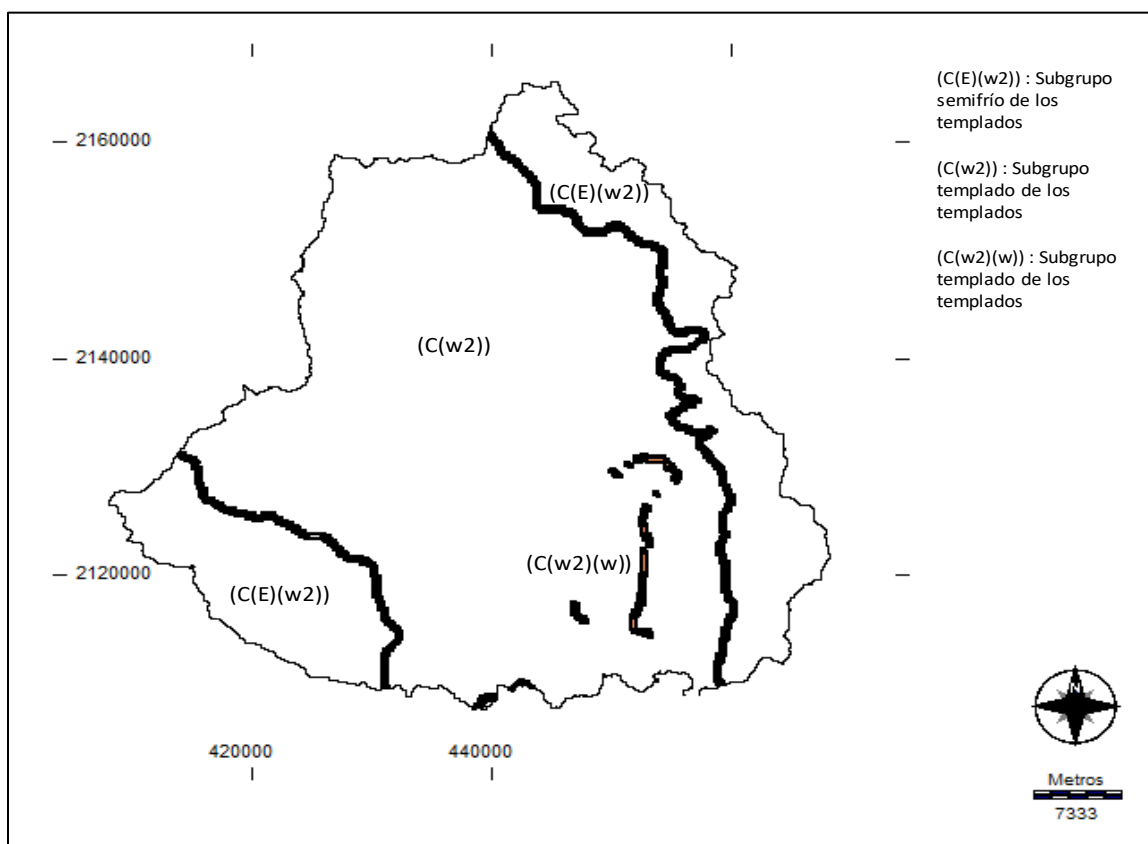


Figura 4.10. Tipos de climas en la cuenca del CARL (INEGI, 2017).

4.7.2. RED DE DRENAJE

De acuerdo con Díaz et al. (1999), la cuenca del CARL tiene un orden del río principal de 5 (Horton-Strahler), teniendo un valor de relación de bifurcación (Rb) de los cauces de 4.36. Por lo que de acuerdo con el valor obtenido de Rb se dice que la estructura geológica de la cuenca no distorsiona el modelo de drenaje. Sin embargo, cabe mencionar que en el exutorio existe una presa reguladora, la cual actualmente funciona como laguna de oxidación de las aguas negras que recibe el río Lerma. Estas aguas son posteriormente utilizadas para riego de hortalizas (Flores, 2008).

La figura 4.11 muestra el modelo digital de elevación, así como el curso natural del río Lerma y sus tributarios, además se muestran los almacenamientos de agua superficial. La trayectoria actual y original o natural del río principal se muestra en la figura AI.1.

Cabe mencionar que de acuerdo con el INEGI (2016), las Ciénegas de Lerma (Chignahuapan, Chimaliapan y Chiconohuapan) representan el 5 % de la cuenca, las cuales son amenazadas por la fuerte contaminación provocada por la incorporación permanente de aguas residuales tratadas y crudas que han modificado y, en algunos casos exterminado la flora y fauna locales.

El estudio de los humedales y su integración en un Inventario es fundamental para su conservación y recuperación, siendo un indicador natural muy importante para evaluar la salud del medio ambiente, y un reflejo del equilibrio entre las aguas subterráneas y superficiales (INEGI, 2016).

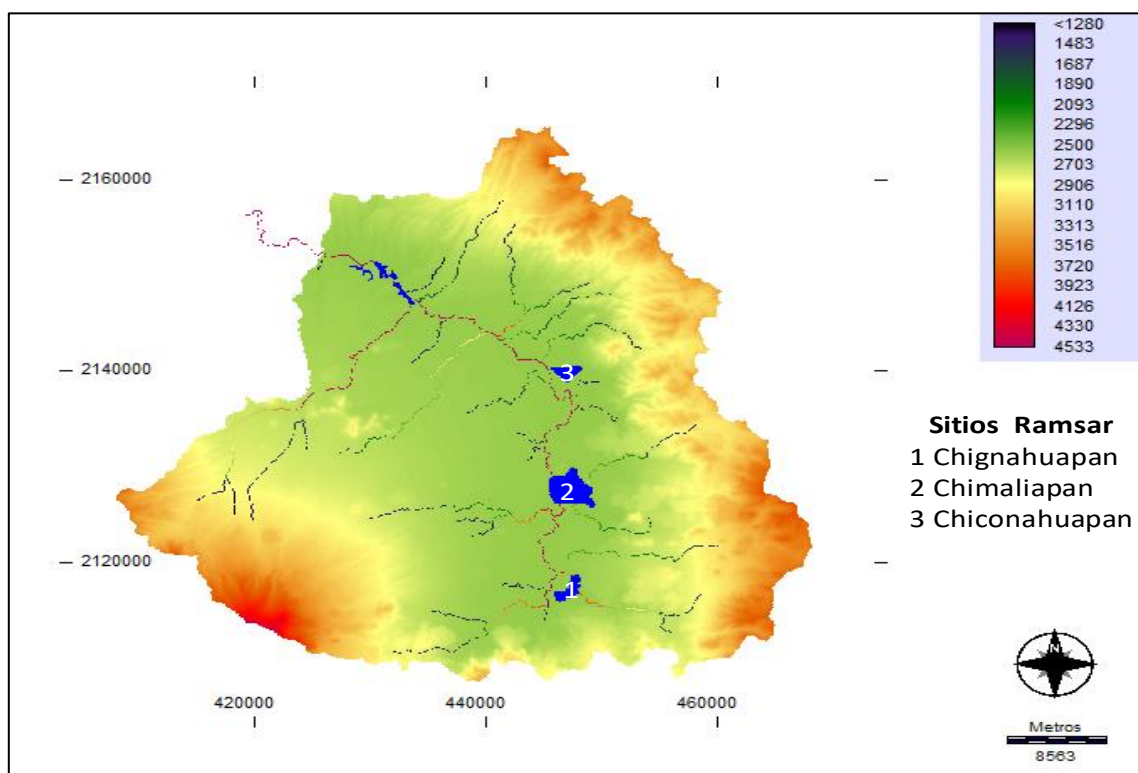


Figura 4.11. Modelo digital de elevación con escurrimientos y cuerpos de agua superficial.

La cuenca del CARL cuenta con seis estaciones hidrométricas ubicadas en el río Lerma (CONAGUA, 2017), la figura 4.12 muestra la ubicación de dichas estaciones, así como el curso actual del río y la trayectoria del trasvase Sistema Lerma. Algunas estaciones hidrométricas cuentan con registros hidrométricos desde 1942, tal es el caso de la estación hidrométrica 12374, conocida como “La Y”. De esta estación se obtendrán los registros hidrométricos ha realizarse en el presente trabajo de investigación. Esta estación

hidrométrica es la última estación aguas arriba del exutorio en la presa Alzate, además de contar con el mayor número de registros hidrométricos, desde 1942 hasta el 2014, con ausencia de registros en los años 1994, 2002, 2007-2009 y algunos meses de otros años. Por otro lado, la estación 12386 “Atenco”, es la primera estación hidrométrica desde su nacimiento del río Lerma en la laguna de Almoloya del Río (Chignahuapan), la cual cuenta con registros hidrométricos desde 1942 hasta 1997, con ausencia de registros de 1961 a 1970 y de 1986 a 1996, y algunos meses de otros años.

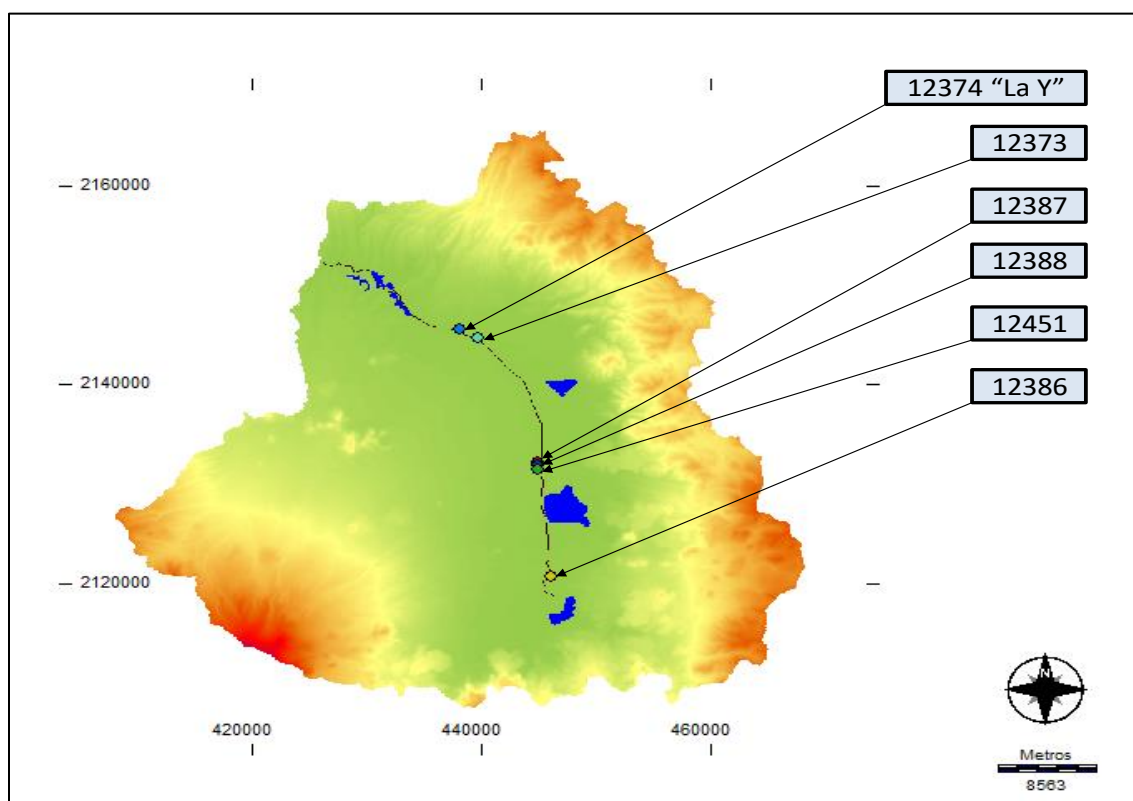


Figura 4.12. Estaciones hidrométricas en río Lerma.

La figura 4.13 muestra una gráfica del gasto mínimo anual ($Q_{\min A}$) en la estación hidrométrica 12374 (La Y) desde 1942 al 2014, donde se puede observar una reducción del caudal mínimo en el año 1951, coincidiendo con el inicio de operaciones del trasvase Sistema Lerma. En los años siguientes, el caudal mínimo incrementa. Sin embargo, este aumento no necesariamente representa un mayor volumen del caudal base, sino un volumen descargado de agua residual a cuerpos de agua superficial, producto del crecimiento poblacional. El análisis de los registros hidrométricos muestra que, el gasto mínimo ocurrió el 04 de abril de 1972 con un gasto de $0.046 \text{ m}^3/\text{s}$.

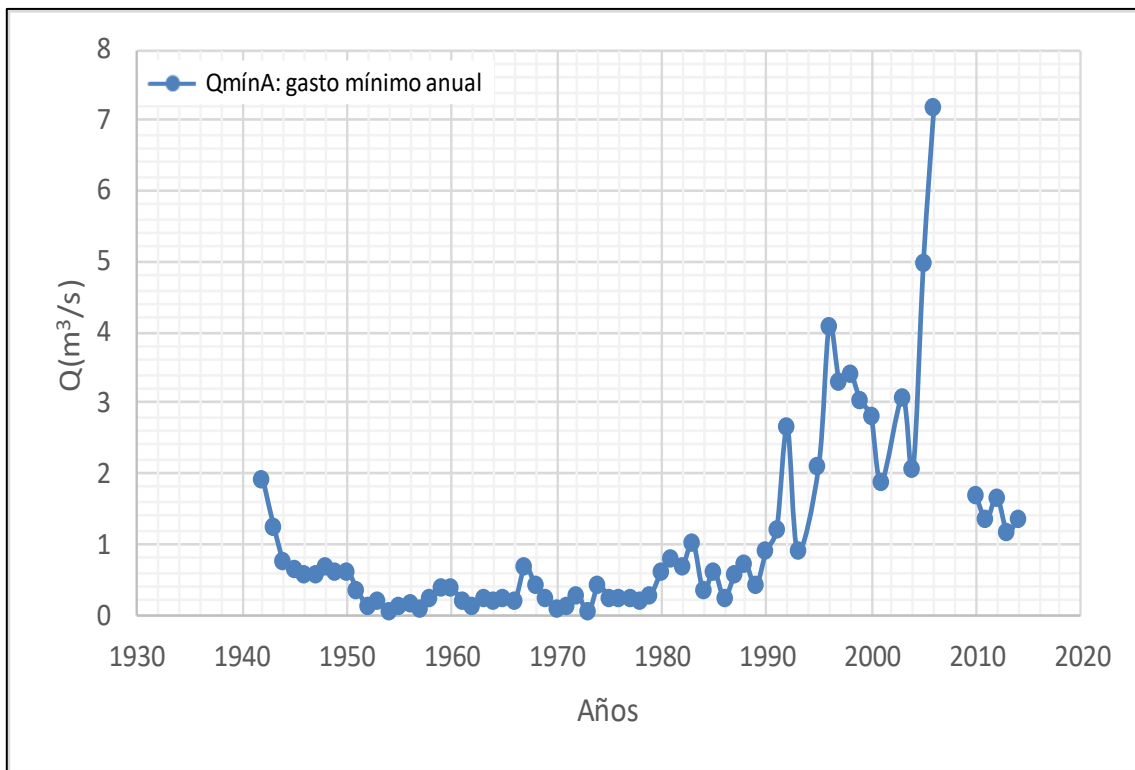


Figura 4.13. Gastos mínimos anuales en estación hidrométrica 12374 “La Y”.

4.7.3. TRASVASE SISTEMA LERMA

La cuenca del CARL ha proporcionado agua hacia la ciudad de México desde 1929. En este año el pueblo de San Pedro Atlapulco en el municipio de Ocoyoacac cedió sus derechos al Departamento del Distrito Federal sobre cuatro manantiales, a cambio de que dicho organismo instalara la tubería para introducir agua potable en el pueblo y que construyera la escuela de la localidad (Torres, 2014).

Posteriormente en 1942, iniciaron las obras para la construcción del trasvase conocido como Sistema Lerma (SL), el cual llevaría agua desde la laguna de Almoloya del Río hasta los tanques de Dolores en Chapultepec, Ciudad de México. El sistema trabajaría con captaciones por medio de galerías, interceptando las corrientes subterráneas a lo largo del acueducto, iniciando operaciones en 1951, inicialmente por medio de 75 pozos, con profundidades variables de entre 50 y 308 m (Torres, 2014).

En la actualidad existen 383 pozos en operación, propiedad de la batería de pozos del SL del Gobierno del D.F. (CONAGUA, 2015), los cuales alimentan el trasvase SL para suministrar agua a la Ciudad de México.

La tabla 4.1 muestra el gasto de trasvase anual del SL desde la cuenca del CARL hacia la Ciudad de México desde 1951, año en que inicio operaciones el trasvase, hasta el año 2013 (Torres, 2014). El gasto de trasvase inicial fue de 1.65 m³/s en 1951, incrementando gradualmente hasta llegar a un máximo de 13.149 m³/s en el año 1974. Después de ese año el gasto de trasvase decreció paulatinamente. Para el año 2013 el Sistema Lerma aportaba un gasto de 3.9 m³/s.

Table 4.1. Gastos de trasvase del Sistema Lerma a lo largo del tiempo (Torres, 2014).

Año	Qtr (m ³ /s)	Año	Qtr (m ³ /s)	Año	Qtr (m ³ /s)	Año	Qtr (m ³ /s)	Año	Qtr (m ³ /s)
1951	1.65	1964	4.20	1977	11.21	1990	5.26	2003	6.39
1952	2.85	1965	3.92	1978	9.99	1991	5.26	2004	5.53
1953	2.85	1966	2.98	1979	9.86	1992	5.21	2005	4.96
1954	2.52	1967	4.19	1980	9.95	1993	5.21	2006	4.72
1955	2.59	1968	7.64	1981	9.95	1994	5.38	2007	4.62
1956	2.97	1969	9.70	1982	11.03	1995	4.71	2008	4.50
1957	3.12	1970	11.58	1983	10.78	1996	4.72	2009	4.60
1958	3.78	1971	12.48	1984	9.57	1997	4.68	2010	4.72
1959	3.82	1972	12.56	1985	7.24	1998	4.91	2011	4.00
1960	4.08	1973	12.04	1986	7.38	1999	5.52	2012	3.80
1961	3.94	1974	13.15	1987	6.90	2000	5.50	2013	3.90
1962	3.49	1975	12.36	1988	5.47	2001	5.52		
1963	4.30	1976	11.94	1989	5.13	2002	5.46		

La figura 4.14 muestra gráficamente el gasto de trasvase a lo largo del tiempo, donde se puede observar que de 1980 a 1985, el gasto de trasvase fue mayor a 10 m³/s.

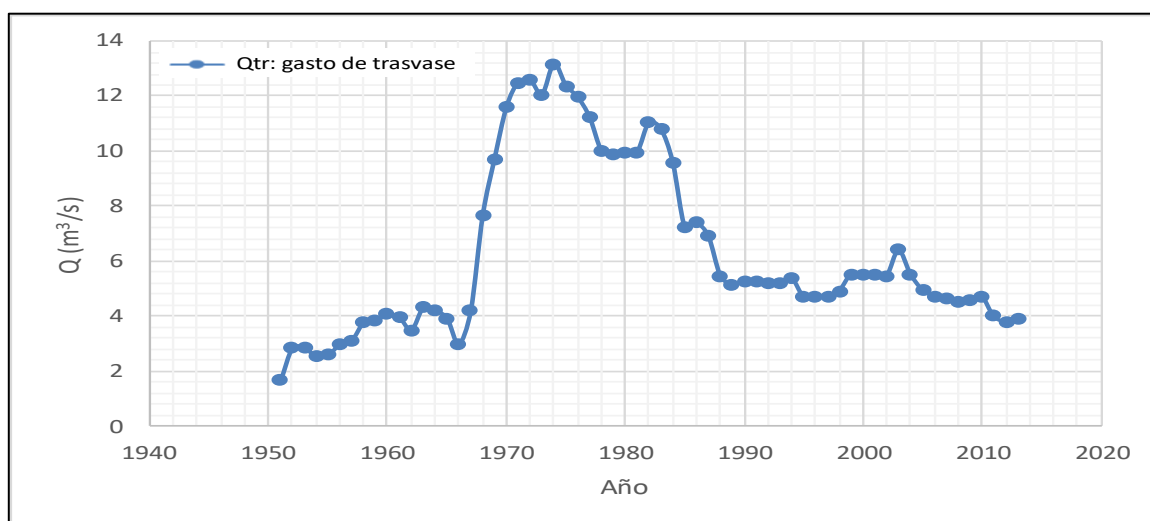


Figura 4.14. Gastos de trasvase del Sistema Lerma a lo largo del tiempo.3

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se muestran los resultados obtenidos al evaluar los impactos volumétricos y energéticos en caudales superficiales, producto de la explotación de agua subterránea por consumo local y por el trasvase SL.

La tabla 5.1 muestra la información utilizada para determinar los impactos volumétricos y energéticos del río Lerma dentro de la cuenca del CARL.

Tabla 5.1. Variables requeridas y generadoras asociadas a la evaluación del trasvase Sistema Lerma.

Variable requerida	Variable generadora	Variable generadora mínima	Fuente	Formato				Escala				
				Raster	Puntual	Lineal	Polígono	Fija	Diaria	Mensual	Anual	Otra
	Caudal mínimo y Ecurrimiento medio		BANDAS (2017)		X						X	
	Gastos diarios		BANDAS (2017)		X				X			
			CONAGUA (2007)	X							X	
Gasto por consumo local y descarga local			MAPAS (2007)	X							X	
	Población		INEGI (1930-2010)				X				X	
		Número de habitantes	INEGI (1930-2010)				X				X	
	Dotación		CONAGUA (2007)		X			X				
		Temperatura	INEGI (2017)	X				X				
		Nivel socioeconómico (NSE)	INEGI (2017)				X					X
Gasto de trasvase			Torres (2014)		X						X	
Gasto de concesión urbana			SEMARNAT (2010)	X				X				
Emergía			Odum (1996)		X							X
	Energía potencial química		Odum (1996)		X							X
		Sólidos Disuelto Totales (SDT)	Datos de campo (2017)		X							X
Valor monetario del agua			Odum, (1996)				X					X
	Ratio Energy/Money		Brown y Bardi (2001)		X							X

El modelo conceptual del fenómeno de trasvase a estudiar (figura 4.2), estima los impactos volumétricos y energéticos mediante la propuesta de fases de explotación de agua

subterránea, por consumo local y por trasvase. Los registros históricos del gasto de trasvase Q_{tr} fueron tomados de información obtenida por Torres (2014). Sin embargo, debido a la escasez de registros históricos de la explotación de recursos hídricos subterráneos por consumo local, fue necesario realizar una inferencia retrospectiva de esta actividad, en la que se consideró el volumen de concesión de agua superficial para uso urbano como la primera fuente de suministro. Es decir, cuando la demanda de agua para habitantes dentro de la cuenca es mayor a la concesión de agua superficial, se infiere que inicia la explotación de agua subterránea por consumo local.

De tal manera, el gasto por consumo local (Q_{cl}), así como el gasto de descarga local (Q_{dl}) se calcularon mediante las ecuaciones 3.1 y 3.2 respectivamente, a partir de la metodología propuesta por CONAGUA (2007). Por ello, se realizó una búsqueda en el INEGI para determinar el número de habitantes desde 1930 hasta el 2015, periodo de estudio del presente trabajo de investigación, mediante los censos correspondientes a municipios y localidades dentro de la cuenca del CARL (Secretaría de la Economía Nacional 1930, 1940; tabla AII.1, Secretaría de Economía 1950; tabla AII.2, Secretaría de Industria y comercio 1960, 1970; tablas AII.2 y AII.3, y por el INEGI 1980, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 y 2015; tablas AII.3- AII.6).

La población inicial dentro de la cuenca del CARL en el año 1930 era de 241,685 habitantes. Para el año 2010, dicha población incremento 741 %, es decir, se registró una población de 2,033,385 habitantes (figura 5.1).

El gasto por consumo local (Q_{cl}) inicial, calculado para el año 1930 fue de $0.278 \text{ m}^3/\text{s}$, mientras que para el año 2013 el gasto incremento 1,871% ($5.487 \text{ m}^3/\text{s}$). En cuanto al gasto de descarga local (Q_{dl}), fue estimado de manera proporcional a la demanda de acuerdo con la metodología propuesta por CONAGUA (2007), encontrando un gasto de descarga local (Q_{dl}) inicial en el año 1930 de $0.209 \text{ m}^3/\text{s}$. Para el año 2013, el gasto de descarga local (Q_{dl}) incremento 1,871 %, aportando la población local un gasto Q_{dl} igual a $4.115 \text{ m}^3/\text{s}$ (figura 5.1). Las tablas AII.1-AII.6 muestran el número de población, el gasto por consumo local (Q_{cl}) y el gasto de descarga local (Q_{dl}) dentro de la cuenca del CARL para todo el periodo de estudio del presente trabajo (1930-2015).

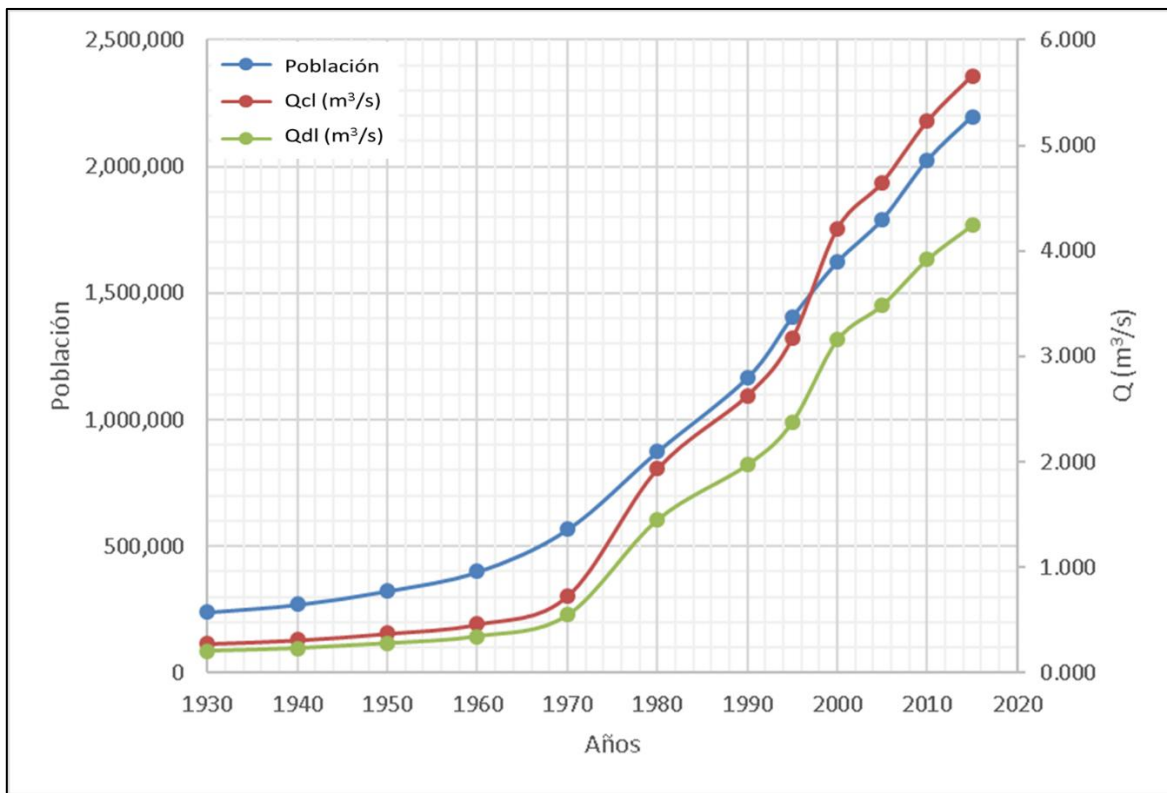


Figura 5.1. Gráfica de población, gasto por consumo local y gasto de descarga local.

El gasto mínimo mensual ($Q_{\text{mínM}}$), el caudal mínimo anual ($Q_{\text{mínA}}$) y el escurrimiento medio mensual (R_{mM}) fueron determinados a partir de los gastos medios diarios de la estación hidrométrica 12374 (La Y), considerando como $Q_{\text{mínM}}$ al menor de los gastos medio diario registrado en cada uno de los meses, R_{mM} es el promedio mensual de los gastos medios diarios y $Q_{\text{mínA}}$ es el menor gastos durante todo el año. Las tablas V.1 a V.3 muestran el gasto mínimo mensual ($Q_{\text{mínM}}$) de todo el periodo de tiempo del presente trabajo (1942-2013), así como el promedio del gasto mínimo mensual por fase. Mientras tanto, las tablas V4 a V6 muestran el escurrimiento medio mensual (R_{mM}) del periodo de estudio, así como el promedio del escurrimiento medio mensual por fase.

Por su parte, el río Lerma, ha tenido una gran variabilidad cuantitativa como cualitativa tan compleja, debido a la explotación de agua subterránea y a las descargas de agua residual de la población local hacia los caudales superficiales de la cuenca del CARL.

En este sentido, Tejeda et al. (2015) realizaron un estudio del balance de masa para el río Lerma y algunos de sus tributarios dentro de la cuenca del CARL, encontrando que, debido al incremento de actividades antropogénicas desarrolladas dentro de la cuenca del CARL,

se ha originado un gran volumen de descargas de aguas residuales con altas cargas de materia orgánica y otros contaminantes ($\text{DBO}_5 > 120 \text{ mg/L}$). Esto ha ocasionado que el Río Lerma se considere como fuertemente contaminado (GREENPEACE, 2014).

La figura 5.2 muestra los lugares de muestreo que Tejeda et al. (2015) estudiaron en el río Lerma y algunos de sus tributarios, así como las subcuencas trazadas en el presente trabajo de esos tributarios. El cálculo del gasto de descarga de agua residual de la población en los tributarios (Q_{est}) se obtuvo con fin de determinar la aportación de la población hacia los tributarios del río Lerma, y compararla con el gasto estimado por Tejeda et al. (2015).

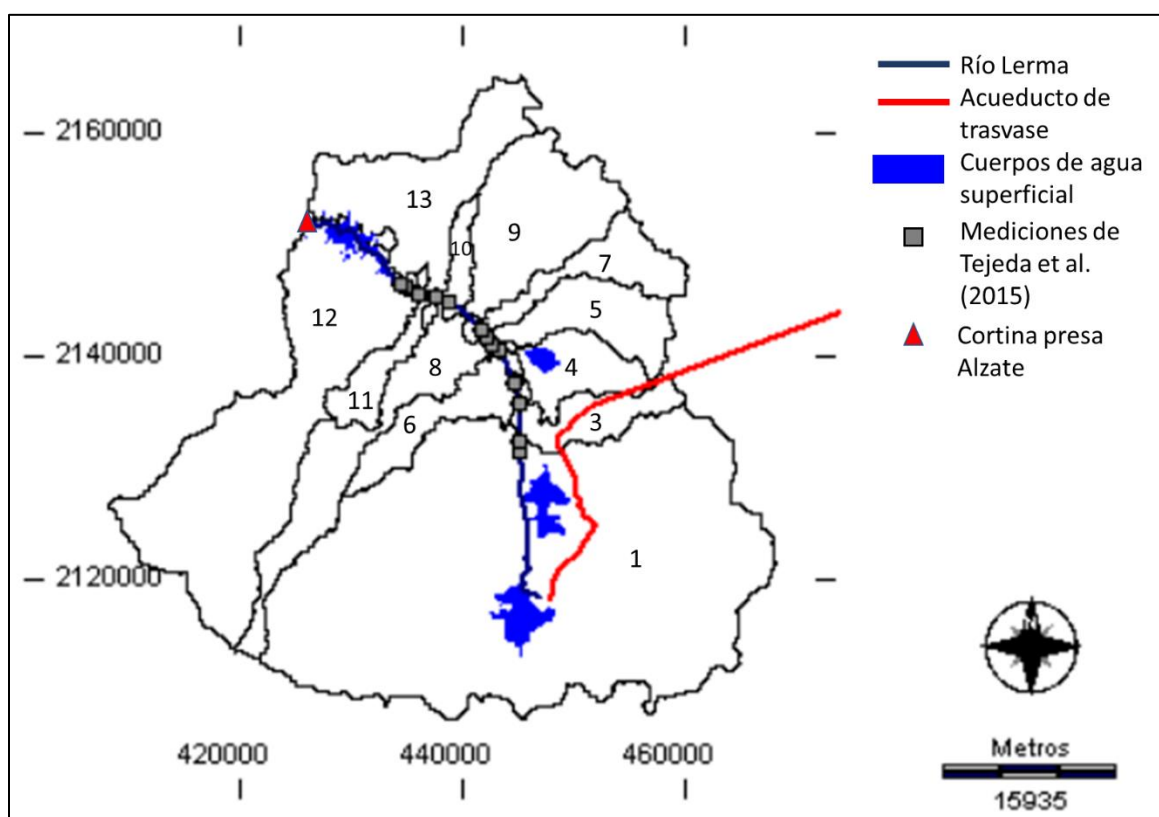


Figura 5.2. Subcuencas de tributarios estudiados por Tejeda et al. (2015).

La tabla 5.2 muestra el gasto de descarga local (Q_{dl}) por subcuencas, así como los gastos obtenidos por Tejeda et al. (2015). El error entre los gastos obtenidos por Tejeda et al. (2015) y las estimaciones en el presente trabajo fue del 4%, por lo que, el error se considera no significativo. En la estimación del gasto de descarga de la población por subcuenca, se incluye de manera adicional un 10% de origen industrial. En la tabla 5.2, se puede observar que el gasto que fluye en los tributarios del río Lerma es en su mayoría

debido a las descargas de agua residual de la población dentro de las subcuencas. Tal es el caso específico de los tributarios 5, 8, 10 y 13 (Atarasquillo, Toluca-Norte, San Lorenzo y Temoaya respectivamente), en la que la aportación de la población hacia los tributarios es mayor al gasto obtenido por Tejeda et al. (2015). De tal manera, se infiere que la mayor parte del gasto que fluye en estos tributarios es debido a las descargas de agua residual de la población. La tabla AI.1 muestra las localidades y municipios que aportan agua residual hacia las subcuencas de los tributarios comparados en el presente trabajo con los gastos obtenidos por Tejeda et al. (2015).

Tabla 5.2. Gasto del balance de masa y gasto estimado de descarga de habitantes dentro de las subcuencas de los tributarios del balance de masa.

Tributarios Balance de Masa		Q_{Bm} (L/s)	Q_{est} (L/s)
1	Mex-Tol	591	572.9
2	RECICLAGUA	450	450
3	Ameyalco	95	56.2
4	El Llanito	45	37.3
5	Atarasquillo	10	44.1
6	Canal Totoltepec	1000	770.9
7	Xonacatlán	95	80.4
8	Toluca-Norte	1250	1316.4
9	Santa Catarina	520	114.4
10	San Lorenzo	0	9.5
11	Verdiguel	100	93.9
12	Tejalpa	426	262.9
13	Temoaya	28	132.2
14	Villa Cuauhtémoc (La "Y")	4109	3941.1

La correlación entre el gasto estimado por subcuenca (Q_{est}) y el gasto obtenido por Tejeda et al. (2015; Q_{Bm}) en los tributarios del río Lerma se muestran en la figura 5.3. La línea de tendencia muestra un coeficiente de determinación de 0.8809. Esto permite relacionar de manera directa el gasto en los tributarios del río Lerma con el gasto de descarga de agua residual de la población. Así pues, se infiere que la mayor parte del gasto que fluye en los tributarios del río Lerma es debido a descargas de agua residual de la población dentro de cada subcuenca.

En este sentido, es imprescindible realizar trabajos que mejoren la calidad de las descargas de agua residual de la población hacia los tributarios del río Lerma, con el fin de alcanzar

las condiciones necesarias, que permitan recuperar el estado original del río, con el fin de tener un caudal capaz de albergar especies acuáticas propias de la región.

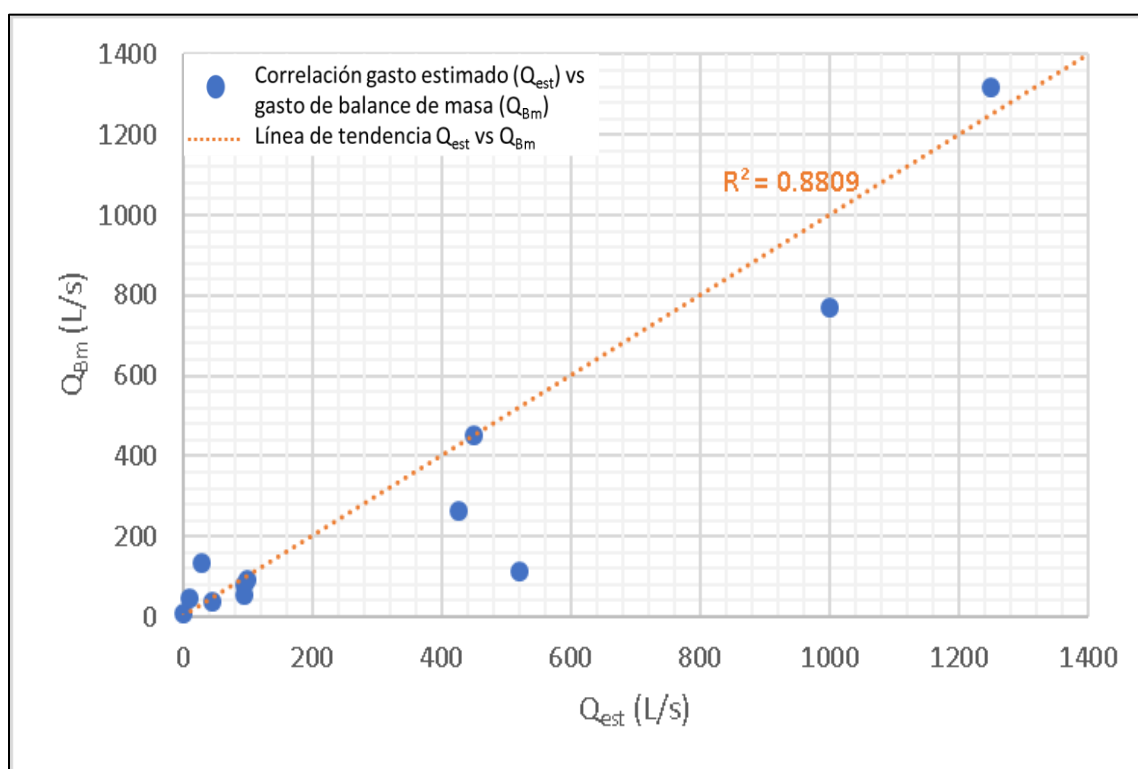


Figura 5.3. Correlación entre el gasto estimado (Q_{est}) y el gasto medido (Q_{Bm}) por Tejeda et al. (2015).

Para determinar la energía potencial química de la fase inicial (E_{pq0}) fue necesario realizar trabajo de campo dentro de la cuenca del CARL, con el fin de identificar arroyos que no presenten alteraciones debido a actividades antropogénicas, los cuales tienen la capacidad de albergar un caudal ecológico. El anexo III muestra la ubicación de los arroyos encontrados con presencia de especies acuáticas propias de la región, así como las coordenadas, y las especies encontradas.

En los arroyos encontrados con presencia de caudales ecológicos, se identificaron especies endémicas y bioindicadores acuáticos propias de la zona de estudio (CARL), como peces girardinichtys (figura AIII. 2), los cuales, de acuerdo con la NOM-059 (SEMARNAT, 2010), es una especie endémica en estado vulnerable (Meek, 1904; Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza). El bioindicador encontrado, cuyo nombre científico es Trichoptera (figura AIII. 5), es un indicador de la calidad del agua, el cual es muy sensible a contaminantes (Lozano, 2005).

El estado actual encontrado en estos arroyos se consideró en el presente trabajo como el estado inicial del río Lerma. De los arroyos encontrados, se tomaron muestras de efectuar un análisis fisicoquímico en el laboratorio de calidad de agua del IITCA. Se determinó la concentración de sólidos disueltos totales (SDT) bajo la NMX-AA-034 (SCFI, 2015), con el fin de estimar la energía potencial química presente en el agua de estos arroyos, considerada como la energía potencial química de la fase inicial (E_{pq0}). La energía potencial química fue calculada mediante la energía libre de Gibbs ($G_{fe}^{Q^{min}0}$).

La determinación de la concentración de SDT del estado inicial del río (fase 0), corresponde a las muestras de agua provenientes de los arroyos encontrados en campo. Este procedimiento se muestra en el anexo III.1.

5.1. IDENTIFICACIÓN DE FASES

Para identificar las fases de explotación de agua subterránea (etapa 1), fue determinada en función del caudal mínimo anual ($Q_{mínA}$) en el río Lerma de 1942 al 2006, a partir de los registros hidrométricos de la estación 12374 (La Y). La figura 5.2 muestra la identificación de fases de explotación de agua subterránea, en función del caudal mínimo anual en río Lerma ($Q_{mínA}$), el gasto de concesión de agua superficial para uso urbano (CAS), el gasto por consumo local (Q_{cl}), y el gasto de trasvase (Q_{tr}).

De esta manera es posible observar que, la explotación de agua subterránea inició con el trasvase en 1951, mientras que el gasto por consumo local (Q_{cl}) podía ser abastecido de fuentes de agua superficial hasta aproximadamente 1964, cuando el gasto por consumo local (Q_{cl}) fue superior al gasto de concesión de agua superficial para uso urbano. Ello permite inferir que en ese año se iniciaron las extracciones de agua subterránea para abastecer a la población dentro de la cuenca del CARL (gasto por consumo local; Q_{cl}).

Las fases de explotación de agua subterránea quedan establecidas de la siguiente manera (figura 5.4):

- De 1942 (incluso años anteriores) hasta 1950 no se presenta explotación de recursos hídricos subterráneos. Este periodo de tiempo es considerado como la fase inicial o “estado natural” (fase 0) del río Lerma dentro de la cuenca del CARL.

- De 1951 a 1963, existe explotación de agua subterránea para abastecer al trasvase (Q_{tr}) Sistema Lerma (SL). La población local podía seguir abasteciendo sus necesidades hídricas desde fuentes de agua superficial. Sin embargo, existe un gasto de descarga local (Q_{dl}) hacia cuerpos de agua superficial naturales. Este periodo de tiempo es considerado como la fase 1, definido por la explotación de agua subterránea de un tipo (trasvase).
- Posterior a 1964, existe explotación de agua subterránea para abastecer al trasvase (Q_{tr}) SL, así como para abastecer a la población dentro de la cuenca del CARL (Q_{cl}), más un gasto de descarga local (Q_{dl}). Este periodo es considerado como la fase 2.

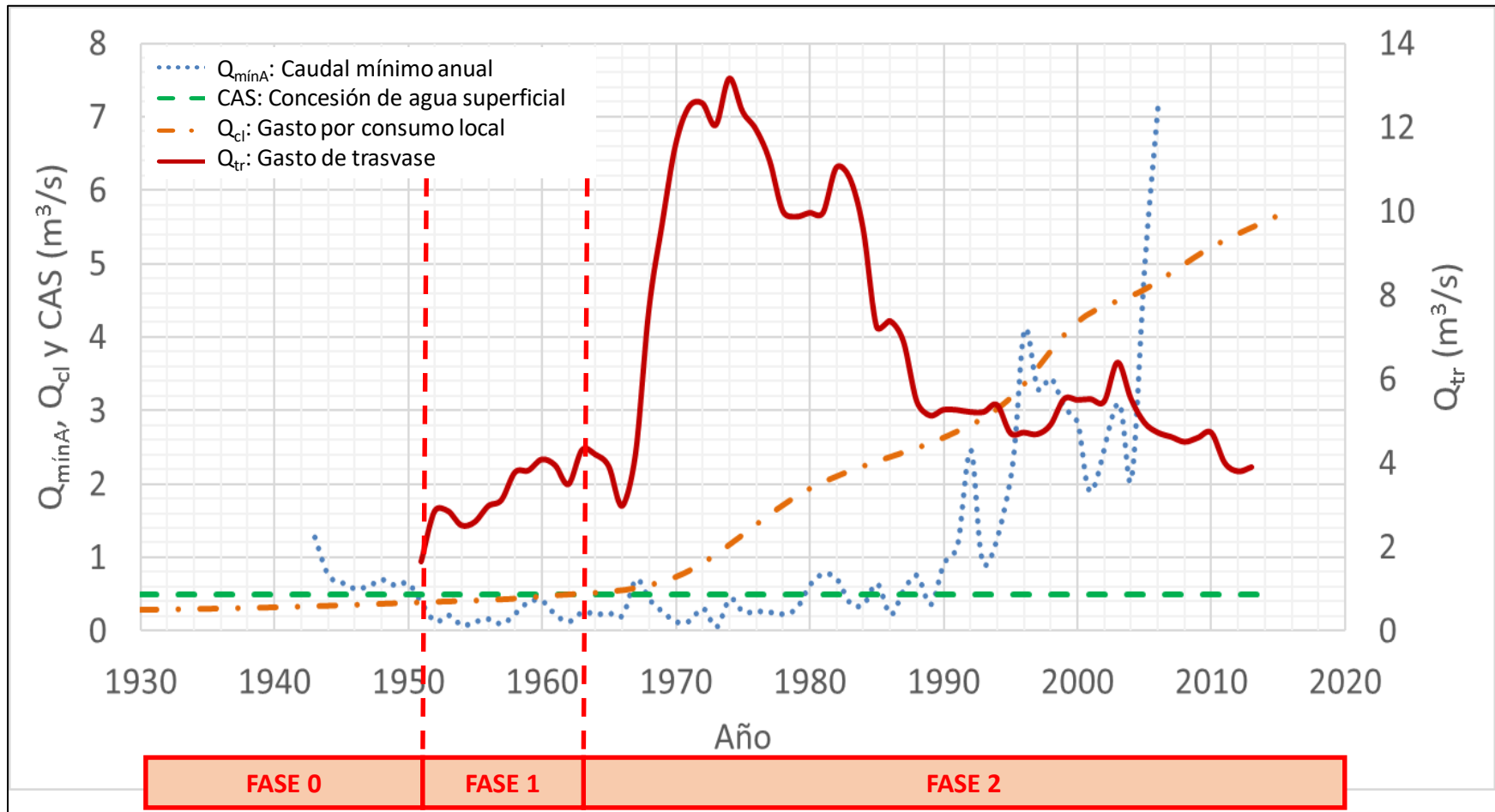


Figura 5.4. Identificación de fases.

Por otro lado, la relación del gasto de trasvase (Q_{tr}) con el caudal mínimo (Q_{min}) es influenciado por el gasto de descarga local (Q_{dl}) y la precipitación (P_{rc}) figura 5.5. En la fase 1, se muestra una mayor dispersión, debido a los bajos gasto de trasvase (entre 1.65 m^3/s y 4.304 m^3/s) entre otros factores. Mientras que, para la fase 2, esta relación incrementa 6,659 veces más que en la fase 1, esta relación es influenciada debido al incremento del gasto de trasvase en la fase 2, el cual fue de hasta 13.149 m^3/s en 1974, razón por la cual el coeficiente de determinación (R^2) incrementa 6,659 veces más que en la fase 1. Esta relación incrementa a mayor gasto de trasvase (figura 5.5).

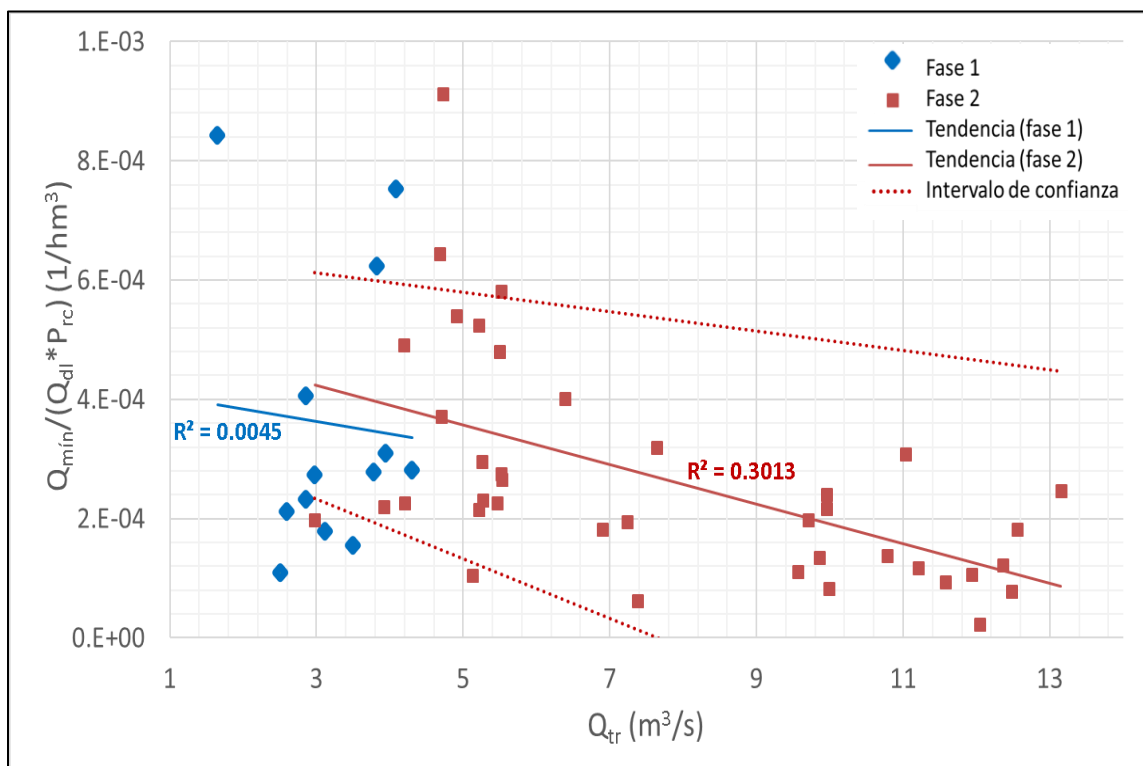


Figura 5.5. Relación gasto de trasvase con caudal mínimo respecto al consumo local y precipitación.

5.2.IMPACTOS VOLUMÉTRICOS

Los impactos volumétricos estimados para el caudal mínimo, comparados con la fase inicial (fase 0), cuando el promedio del caudal mínimo resulto de 3.420 m^3/s . Para la fase 1 el promedio del gasto mínimo fue de 2.559 m^3/s , es decir, existe un impacto volumétrico en el caudal mínimo del 25 %. Para la fase 2, el caudal mínimo se recuperó un 39 % con respecto a la fase 1, es decir, existe un incremento del gasto del 4 % con respecto al caudal mínimo de la fase inicial (fase 0).

Sin embargo, la recuperación volumétrica de la fase 2 con respecto a la fase 1 y 0 no necesariamente representa una recuperación cualitativa del caudal mínimo, sino las aportaciones de agua residual de la población dentro de la cuenca del CARL hacia los cuerpos de agua superficial.

La recuperación volumétrica de la fase 2 con respecto a la fase 1, no tiene la calidad que el caudal mínimo en la fase 0. Por ello, el caudal actual del río no tiene la capacidad de albergar algún tipo de vida acuática. Es decir, la energía potencial química actual del río es menor a la energía potencial química requerida para albergar vida acuática o de la fase inicial, debido al incremento de la concentración de sólidos disueltos totales.

Para la fase 0 (1942-1950), se encontró un caudal mínimo promedio ($\bar{Q}_{\min 0}$) de $3.42 \text{ m}^3/\text{s}$ (tabla 5.3), con una varianza (σ_0^2) de 5.514 y una desviación estándar (σ_0) de $2.348 \text{ m}^3/\text{s}$. la tabla 5.3 muestra que abril fue le mes con el menor caudal mínimo promedio ($0.989 \text{ m}^3/\text{s}$), septiembre fue el mes con el mayor caudal mínimo promedio ($8.282 \text{ m}^3/\text{s}$), y diciembre fue el mes con el caudal mínimo más cercano al promedio de la fase inicial, con $0.020 \text{ m}^3/\text{s}$ más gasto que el promedio.

Para la fase 1, se encontró un caudal mínimo promedio ($\bar{Q}_{\min 1}$) de $2.559 \text{ m}^3/\text{s}$ (tabla 5.3), con una varianza σ_1^2 de 6.131 y una desviación estándar σ_1 de $2.476 \text{ m}^3/\text{s}$. En la tabla 5.3 se puede observar que marzo fue el mes con el menor caudal ($0.254 \text{ m}^3/\text{s}$), septiembre fue el mes con el mayor gasto ($7.484 \text{ m}^3/\text{s}$), y noviembre fue el mes que más se acercó al promedio de la fase 1 ($\bar{Q}_{\min 1}$), con un gasto de $3.183 \text{ m}^3/\text{s}$,

Para la fase 2, se encontró un caudal mínimo promedio ($\bar{Q}_{\min 2}$) de $3.555 \text{ m}^3/\text{s}$ (tabla 5.3), una varianza (σ_2^2) de 3.972 y una desviación estándar (σ_2) de $1.993 \text{ m}^3/\text{s}$. En la tabla 5.3 se puede observar que abril fue el mes con el menor caudal ($1.641 \text{ m}^3/\text{s}$), septiembre fue el mes con el mayor caudal mínimo mensual ($7.471 \text{ m}^3/\text{s}$), y noviembre fue el mes que más se acercó al promedio del caudal mínimo mensual de la fase 2 ($\bar{Q}_{\min 2}$), con un gasto de $3.221 \text{ m}^3/\text{s}$.

La tabla 5.3 muestra el promedio del caudal mínimo mensual por fase ($Q_{\min ji}$), así como el promedio del caudal mínimo por fase ($\bar{Q}_{\min i}$), los cuales varían a lo largo del tiempo en

función de la explotación de agua subterránea y las aportaciones de la población hacia cuerpos de agua superficial. Las tablas V.1 a V.3 muestran el caudal mínimo mensual del periodo de estudio del presente trabajo, en las cuales se puede observar el promedio del caudal mínimo mensual de cada una de las fases ($Q_{\min i}$).

Tabla 5.3. Caudales mínimos promedios mensuales por fases ($\bar{Q}_{\min 0}$).

Mes	$Q_{\min 0}$ (m ³ /s)	$Q_{\min 1}$ (m ³ /s)	$Q_{\min 2}$ (m ³ /s)
1	2.760	0.782	2.273
2	1.765	0.364	1.820
3	1.105	0.254	1.807
4	0.989	0.255	1.641
5	1.132	0.496	2.060
6	1.460	1.000	2.423
7	3.159	3.741	4.568
8	5.508	5.989	6.461
9	8.282	7.484	7.645
10	7.135	5.630	5.972
11	4.304	3.183	3.221
12	3.440	1.531	2.771
$\bar{Q}_{\min i}$	3.420	2.559	3.555

La figura 5.6 muestra gráficamente el promedio de los gastos mínimos mensuales encontrados en las diferentes fases (0, 1 y 2). En esta figura, se puede observar, que el mes de septiembre, fue el mes en el que las tres fases tuvieron el mayor gasto, siendo la fase 0 la mayor de ellas. La fase 0 presenta 10.6 % más gasto que la fase 1 y 2. Sin embargo, en los meses de estiaje (febrero-junio), la fase 1 registró un menor gastos, con un promedio de 0.474 m³/s en estos meses, es decir, una reducción del 63 % con respecto a la fase 0. Por su parte, la fase 2 en estos meses (febrero-junio) recuperó 111.5 % de su volumen respecto a la fase 1, es decir, incremento un 48 % con respecto a la fase 0.

Para la fase 1, se presenta la explotación de agua subterránea para abastecer al trasvase Sistema Lerma, por lo que el caudal mínimo sufre un abatimiento, principalmente en temporada de estiaje. Por otro lado, la fase 2 presenta un incremento volumétrico en los meses de estiaje, un producto probable de las descargas de agua residual de la población

hacia los cuerpos de agua superficial, la cual en la mayoría de los casos no tienen un previo tratamiento.

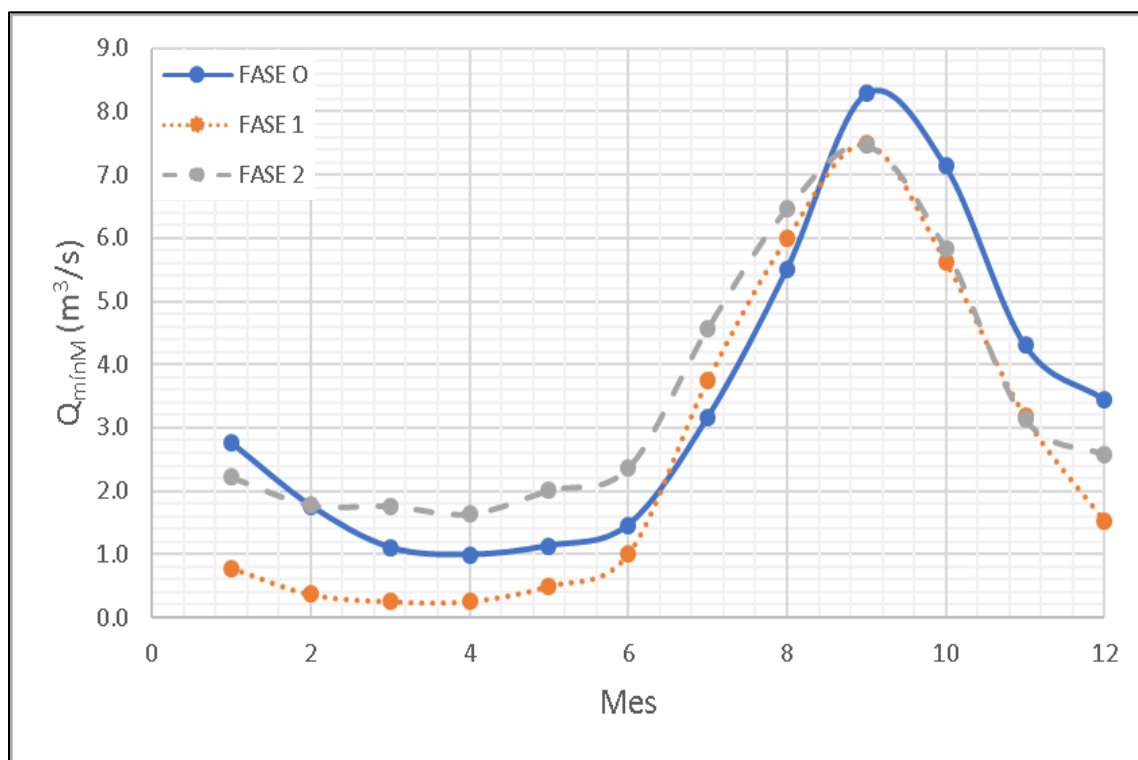


Figura 5.6. Promedio de los gastos mínimos mensuales de cada fase.

Por otro lado, la tabla 5.4 muestra el menor gasto mensual encontrado en cada una de las fases con la respectiva fecha en que ocurrió dicho evento, así como el promedio de los gastos mínimos mensuales ($\bar{Q}_{\min i}$) de cada fase (0, 1 y 2), encontrando un caudal mínimo promedio de la fase 0 ($\bar{Q}_{\min 0}$) de $1.879 \text{ m}^3/\text{s}$, un caudal mínimo promedio en la fase 1 ($\bar{Q}_{\min 1}$) de $0.814 \text{ m}^3/\text{s}$ y un caudal mínimo promedio de la fase 2 ($\bar{Q}_{\min 2}$) de $0.743 \text{ m}^3/\text{s}$.

Para la fase 0, el menor gasto mínimo ocurrió el 01 de abril de 1946 con un gasto de $0.0570 \text{ m}^3/\text{s}$. El 31 de enero de 1947 se registró el gasto más aproximado al promedio del caudal mínimo mensual ($\bar{Q}_{\min 0}$), de $2.099 \text{ m}^3/\text{s}$, sólo $0.022 \text{ m}^3/\text{s}$ más gasto que el promedio. Por otro lado, el 31 de agosto de 1950 se presentó el mayor gasto registrado, siendo este de $3.73 \text{ m}^3/\text{s}$. Dicho gasto es el más alejado al promedio, pues presenta una diferencia de $1.851 \text{ m}^3/\text{s}$ respecto al promedio.

Para la fase 1, el menor gasto mínimo ocurrió el 07 de abril de 1954 con un gasto de $0.071 \text{ m}^3/\text{s}$. El 21 de noviembre de 1957, se registró el gasto más aproximado al promedio del

caudal mínimo ($0.943 \text{ m}^3/\text{s}$, $1.29 \text{ m}^3/\text{s}$ más que el promedio), y el 18 de septiembre de 1957 ocurrió el mayor de los gastos mínimos ($2.319 \text{ m}^3/\text{s}$, $1.505 \text{ m}^3/\text{s}$ más que el promedio).

Para la fase 2, el 28 de marzo de 1973 se registró el menor gasto mínimo, siendo este igual a $0.060 \text{ m}^3/\text{s}$, el cual es un gasto menor que el registrado en la fase inicial, ($Q_0=0.570 \text{ m}^3/\text{s}$, ocurrido el 01 de abril de 1946), así como menor al menor gasto mínimo registrado en la fase 1 (el cual fue de $0.071 \text{ m}^3/\text{s}$ ocurrido el 07 de abril de 1954 m^3/s ; tabla 5.4).

Tabla 5.4. Caudal mínimo mensual de la fase 0 (Q_{bminM0}).

Mes	$Q_{\text{mínM0}}$ (m^3/s)	Fecha	$Q_{\text{mínM1}}$ (m^3/s)	Fecha	$Q_{\text{mínM2}}$ (m^3/s)	Fecha
1	2.099	31/01/1947	0.232	26/01/1957	0.368	25/01/1971
2	1.280	01/02/1946	0.119	15/02/1957	0.166	21/02/1973
3	0.582	30/03/1946	0.088	06/03/1957	0.060	28/03/1973
4	0.570	01/04/1946	0.071	07/04/1954	0.063	01/04/1973
5	0.649	07/05/1950	0.128	04/05/1955	0.240	02/05/1970
6	1.009	15/06/1948	0.371	01/06/1953	0.423	03/06/1973
7	1.283	05/01/1950	1.759	02/07/1957	0.524	04/07/1965
8	3.730	31/08/1950	1.667	11/08/1962	1.752	12/08/1976
9	3.203	04/09/1950	2.319	18/09/1957	1.804	28/09/1982
10	3.206	31/10/1950	1.570	31/10/1957	1.521	30/10/1982
11	2.730	21/11/1950	0.943	21/11/1957	1.192	03/11/1982
12	2.203	29/12/1950	0.504	26/12/1957	0.800	30/12/1966
$\bar{Q}_{\text{mín i}}$	1.879		0.814		0.743	

La figura 5.7 muestra gráficamente los gastos mínimos mensuales ($Q_{\text{mínMi}}$) de las tres fases, así como el promedio del caudal mínimo de cada una de las fases ($\bar{Q}_{\text{mín i}}$). En la figura se puede observar que la fase inicial (fase 0) tuvo el mayor gasto mínimo promedio, excepto en el mes de julio, cuando la fase 1 presentó mayor gasto. Además, la fase 1 y 2 muestran una variación del caudal mínimo, sin embargo, su gasto es menor al gasto de la fase 0.

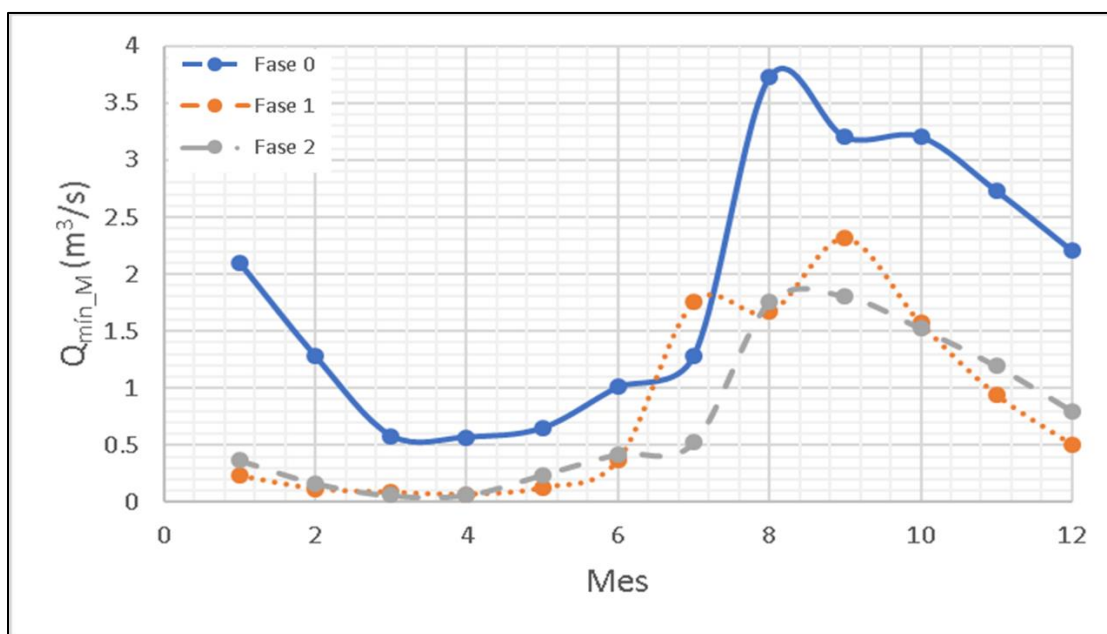


Figura 5.7. Caudales mínimos mensuales por fase.

La tabla 5.5 muestra el promedio mensual de los impactos volumétricos por fase, así como el promedio del impacto volumétrico anual. Se observa un impacto volumétrico de la fase 1 con respecto a la fase 0 del 25 %. Sin embargo, a pesar de no mostrar una correlación significativa entre el gasto de extracción de agua subterránea y la reducción del caudal mínimo, es posible atribuir este impacto volumétrico al trasvase, debido a que, de acuerdo con Torres-Bernardino (2014), en ese periodo operó de manera paralela la captación de agua por galerías filtrantes interceptaron directamente las corrientes subterráneas de los manantiales.

En la fase 2, se presenta un volumen anual del caudal mínimo de $112.50 \text{ hm}^3/\text{año}$, volumen que representa una recuperación volumétrica del 39 % con respecto a la fase 1, es decir, un incremento volumétrico del 4 % con respecto a la fase 0. Sin embargo, esta recuperación volumétrica de la fase 2, no representa las aportaciones de las aguas subterráneas a los cuerpos de agua superficial (caudal base), sino las descargas de agua residual de la población local hacia los cuerpos de agua superficial, tabla 5.2 respecto a los gastos estimados por Tejeda et al. (2015). Además, se registra una concentración de SDT en el río Lerma y sus tributarios es muy cercana a la concentración de SDT de las descargas de agua residual, como se mostrará más adelante.

Tabla 5.5. Identificación de impactos volumétricos en caudal mínimo Q_{\min} .

Mes	$Q_{\min 0}$ (hm^3/mes)	$Q_{\min 1}$ (hm^3/mes)	$Q_{\min 2}$ (hm^3/mes)
1	7.393	2.094	6.088
2	4.271	0.881	4.403
3	2.958	0.681	4.839
4	2.563	0.661	4.252
5	3.031	1.327	5.517
6	3.785	2.593	6.280
7	8.461	10.019	12.235
8	14.752	16.040	17.306
9	21.467	19.398	19.816
10	19.110	15.080	15.996
11	11.156	8.250	8.349
12	9.213	4.100	7.421
$\bar{Q}_{\min A}$	108.16	81.12	112.50

La figura 5.8 muestra la gráfica de los impactos volumétricos en el caudal mínimo de la fase 1 y 2 con respecto a la fase inicial. En ella, se puede observar más claramente los impactos volumétricos de la fase 1 (explotación de agua subterránea por trasvase) en temporada de estiaje (enero-junio), ya que el caudal mínimo mensual es inferior al caudal mínimo de la fase 0. Mientras tanto, en la fase 2, se presenta un mayor volumen en el caudal mínimo con respecto a la fase 0 y 1, debido a las descargas de agua residual de la población hacia los cuerpos de agua superficial.

A pesar de la recuperación volumétrica del flujo en la fase 2 respecto a la fase inicial (fase 0), el caudal actual del río no presenta la calidad suficiente para albergar algún tipo de vida acuática, debido a las descargas de agua residual de la población local.

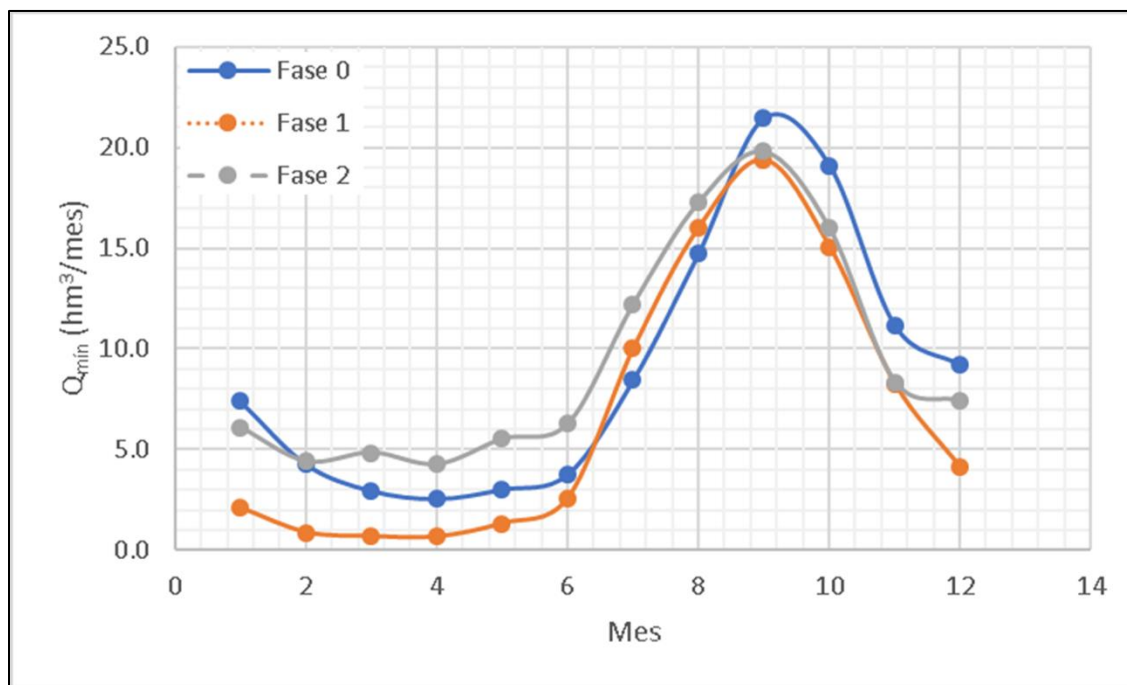


Figura 5.8. Impactos volumétricos mensuales en el caudal mínimo por fase.

5.3.IMPACTOS ENERGÉTICOS

Los impactos energéticos (I_e) fueron estimados a partir de la concentración de Sólidos Disueltos Totales (SDT) de arroyos que actualmente tienen la capacidad de albergar un caudal ecológico con presencia de especies endémicas o bioindicadores propios de la zona de estudio (anexo AIII). La concentración de SDT fue determinada bajo la NMX-AA-034 (SCFI, 2001). Por lo que, la concentración de SDT del cuerpo de agua que presentó las mejores condiciones y con mayor diversidad de especies acuáticas, fue considerado en el presente trabajo como la calidad asociada al caudal mínimo de la fase 0.

La tabla 5.6 muestra el promedio mensual de la concentración de SDT por fase c_{ij} , en la que se puede observar un incremento de la concentración de SDT de 457 % de la fase 1 con respecto a la fase 0, así como un incremento del 39 % de la fase 2 con respecto a la fase 1, un incremento total de 672 % de la fase 2 con respecto a la fase 0. Este incremento en la concentración de SDT es imputado al gasto de descarga de agua residual de la población local, ya que de acuerdo con Fall et al. (2006), el gasto que fluye en los tributarios del río Lerma tiene una alta concentración de SDT muy cercana a la descarga de agua residual doméstica.

Tabla 5.6. Concentración de SDT promedio mensual en el caudal mínimo por fase.

Mes	c_{0j} (mg/L)	c_{1j} (mg/L)	c_{2j} (mg/L)
1	189	1,441	1,776
2	189	1,834	1,909
3	189	1,990	1,951
4	189	2,001	1,937
5	189	1,610	1,852
6	189	987	1,676
7	189	410	1,097
8	189	349	848
9	189	300	769
10	189	369	902
11	189	531	1,318
12	189	797	1,448
\bar{C}_i	189	1,052	1,457

La figura 5.9 muestra gráficamente el promedio de la concentración de sólidos disueltos totales del caudal mínimo mensual (C_{ij}) en cada una de las fases, donde se puede observar un mayor incremento de la concentración de SDT en meses de estiaje (enero-junio) de la fase 1 y 2 con respecto a la fase 0, mientras que en los meses con precipitación (julio-octubre), el incremento de la concentración de SDT no fue tan grande, debido a que el agua de precipitación permite diluir agentes ajenos al agua. La concentración de SDT en la fase 2 muestra un valor muy cercano a la fase 1 en temporada de estiaje (febrero-abril), no así en temporada de precipitación (junio-diciembre).

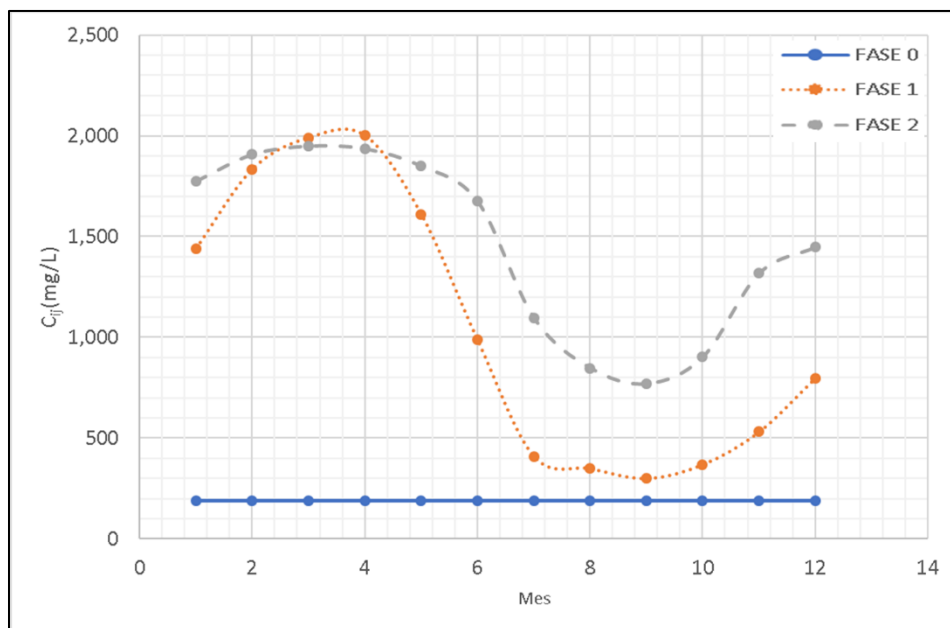


Figura 5.9. Concentración de SDT promedio del caudal mínimo mensual por fases.

A partir de la concentración de sólidos disueltos totales, se estimó la energía potencial química de la fase 0, mediante la energía libre de Gibbs (G_{fe}^{ij}). La G_{fe}^{ij} , como se muestra en el anexo IV.2, mientras que para la fase 1 y 2, fue calculada mediante la ecuación 3.4. Las tablas AVI.10 a AVI.12 del anexo V muestran los resultados obtenidos de la energía potencial química del caudal mínimo mensual de todo el periodo de estudio del presente trabajo.

La tabla 5.7 muestra la energía potencial química mensual por fase (G_{fe}^{iji}), así como el promedio de la energía potencial química de cada una de las fases (\hat{G}_{fe}^i), donde es posible observar una pérdida de energía potencial química de la fase 1 con respecto a la fase 0 de 2.4 %, y del 1.2 % de la fase 2 con respecto a la fase 1, es decir, una pérdida de la energía potencial química del caudal mínimo de 3.6 % de la fase 2 con respecto a la fase 0.

El promedio de la energía potencial química del río Lerma en la fase 0 fue de 4.920 (J/g). Para la fase 1, el promedio de la energía potencial química fue de 4.8 J/g, lo que representa una pérdida del 2.4 % del potencial del río para diluir otras sustancias de la fase 0 a la fase 1. Para la fase 2, el promedio de la energía potencial química fue de 4.74 J/g, lo que representa una pérdida de 1.2 % de la energía potencial química de la fase 2 con respecto a

la fase 1, es decir una pérdida total de del potencial del río para diluir otras sustancias de 3.6 % de la fase 0 a la fase 2.

La pérdida de energía potencial química del caudal del río representa, por un lado, la explotación de agua subterránea, tanto por trasvase como por consumo local, así como la contribución de las descargas de agua residual de la población dentro de la cuenca hacia los cuerpos de agua superficial.

Tabla 5.7. Energía potencial química mensual promedio del caudal mínimo por fase.

Mes	G_{fe}^{0j} (J/g)	G_{fe}^{1j} (J/g)	G_{fe}^{2j} (J/g)
1	4.920	4.746	4.699
2	4.920	4.691	4.681
3	4.920	4.670	4.675
4	4.920	4.668	4.677
5	4.920	4.722	4.689
6	4.920	4.809	4.713
7	4.920	4.889	4.794
8	4.920	4.898	4.828
9	4.920	4.905	4.839
10	4.920	4.895	4.821
11	4.920	4.873	4.763
12	4.920	4.836	4.745
\hat{G}_{fe}^i	4.920	4.800	4.743

La figura 5.10 muestra gráficamente el promedio de la energía libre de Gibbs mensual en cada una de las fases G_{fe}^{ij} , donde se puede apreciar que en los meses con precipitación (julio-octubre) de la fase 1 tiene una energía potencial química muy cercana a la energía potencial química de la fase 0, mientras que en la fase 2 para los mismos meses, la energía potencial química resulto menor a la energía potencial química de la fase 0 y de la fase 1. Para los meses de estiaje, la energía potencial química de la fase 1 y 2 fue menor que en la fase 0, debido a la menor concentración de SDT presentes en el agua de la fase 0 (189 mg/L).

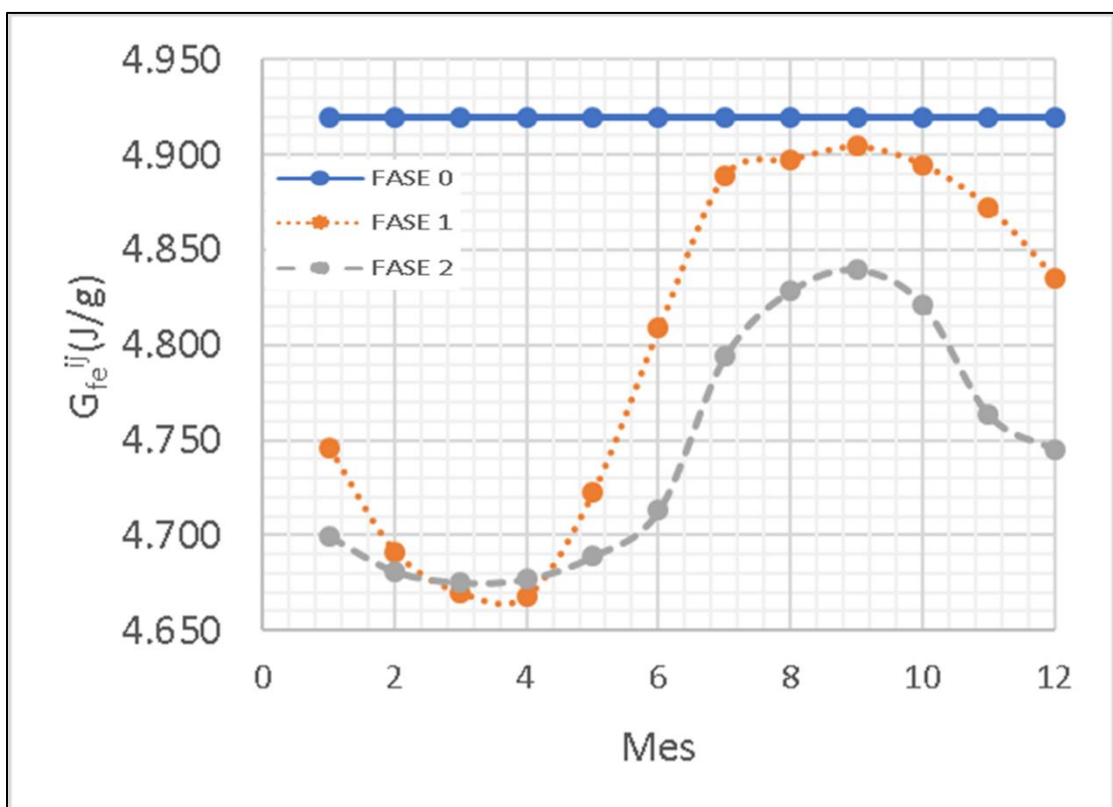


Figura 5.10. Energía potencial química promedio mensual del caudal mínimo por fase.

La tabla 5.8 muestra el promedio del valor energético mensual del caudal mínimo de cada una de las fases (V_{ei}), así como el promedio del valor energético anual de cada una de las fases (\tilde{V}_{ei}). Se puede observar que el valor energético en la fase 1 sufrió un deterioro energético del 25 % con respecto a la fase 0. Para la fase 2, el caudal mínimo mensual presenta un valor energético 36 % mayor que la fase 1, y de 1.4 % mayor que la fase 0.

Sin embargo, la recuperación energética de la fase 2 es debido al incremento volumétrico, no a la mejora cualitativa del caudal del río Lerma, dado que la variación de la energía potencial química presenta una disminución a lo largo del tiempo entre 1.5% y 5% mensualmente, mientras que el volumen presentó variaciones de hasta 80 %.

Tabla 5.8. Valor energético promedio mensual del caudal mínimo por fase.

Mes	Ve_{0j} (J/mes)	Ve_{1j} (J/mes)	Ve_{2j} (J/mes)
1	3.64E+13	1.01E+13	2.87E+13
2	2.10E+13	4.18E+12	2.08E+13
3	1.46E+13	3.19E+12	2.28E+13
4	1.26E+13	3.09E+12	2.00E+13
5	1.49E+13	6.31E+12	2.60E+13
6	1.86E+13	1.25E+13	2.97E+13
7	4.16E+13	4.91E+13	5.89E+13
8	7.26E+13	7.87E+13	8.38E+13
9	1.06E+14	9.52E+13	9.62E+13
10	9.40E+13	7.40E+13	7.74E+13
11	5.49E+13	4.04E+13	3.99E+13
12	4.53E+13	1.99E+13	3.54E+13
$\tilde{V}ei$	5.32E+14	3.97E+14	5.39E+14

Nota: Ve_{ji} : valor energético del caudal mínimo de la fase i en el mes j , $\tilde{V}ei$: valor energético promedio de la fase i

La figura 5.11 muestra gráficamente el valor energético del caudal mínimo mensual por fase (Ve_{0j}). Se puede observar que el mayor valor energético del caudal mínimo fue en el mes de septiembre de la fase 0, cuando el caudal del río presentaba una mayor energía potencial química y un mayor gasto. Mientras que en temporada de estiaje (febrero-junio), el valor energético del caudal mínimo de la fase 0 fue superior al valor energético del caudal mínimo de la fase 1, pero inferior al valor energético de la fase 2.

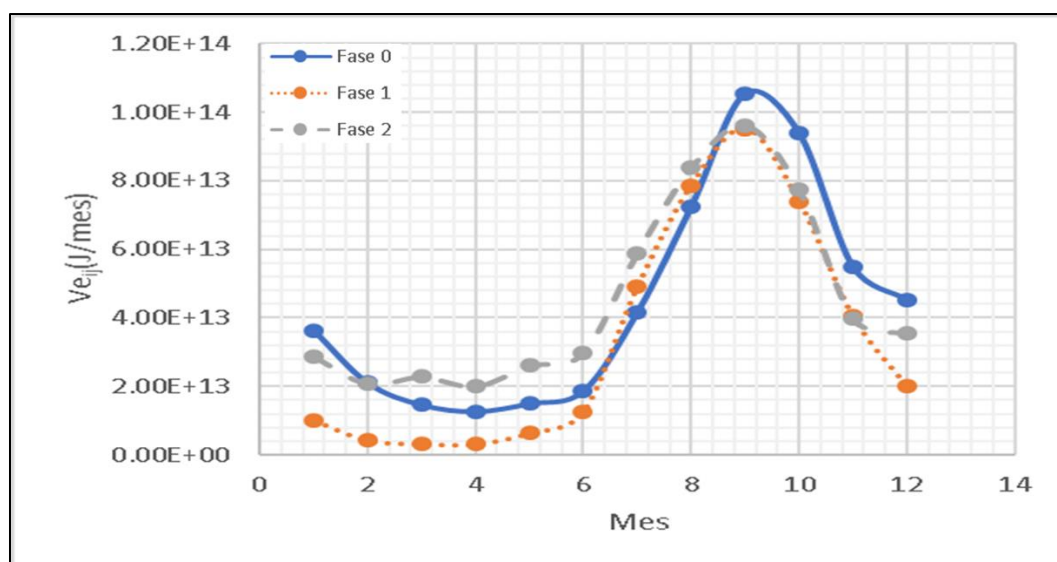


Figura 5.11. Valor energético mensual del caudal mínimo por fase.

Dados los valores energéticos, se pudieron estimar los impactos energéticos mensuales (tabla 5.9) por fase ($I_{e_{ij}}$), así como el promedio de los impactos por fase (\bar{I}_i). La fase 1 sufrió un impacto energético 73 % con respecto a la fase 0. La fase 2, presento una disminución del impacto energético de 27 % con respecto a la fase 1, pero permanece mayor en 46 % de la fase 2 con respecto a la fase 0.

La disminución del impacto energético en el caudal mínimo de la fase 2 representa, por un lado, la recuperación volumétrica que ha tenido el cauce en estudio (río Lerma), y por otro, el deterioro cualitativo del agua.

Tabla 5.9. Impactos energéticos en caudal mínimo con respecto al valor energético de la fase inicial.

Mes	Ve_{0j} (J/mes)	$I_{e_{1j}}$ (J/mes)	$I_{e_{2j}}$ (J/mes)
1	4.88E+13	3.87E+13	2.01E+13
2	2.74E+13	2.32E+13	6.64E+12
3	2.67E+13	2.35E+13	3.95E+12
4	2.06E+13	1.75E+13	5.94E+11
5	1.94E+13	1.31E+13	-6.62E+12
6	3.43E+13	2.18E+13	4.57E+12
7	7.32E+13	2.42E+13	1.44E+13
8	1.11E+14	3.23E+13	2.72E+13
9	1.37E+14	4.17E+13	4.07E+13
10	1.31E+14	5.74E+13	5.40E+13
11	7.28E+13	3.25E+13	3.29E+13
12	5.45E+13	3.46E+13	1.92E+13
\bar{I}_i	4.96E+14	3.60E+14	2.26E+14

La figura 5.12 muestra gráficamente los impactos energéticos de la fase 1 y 2 con respecto al valor energético de la fase 0, donde se puede observar que, en la fase 1, el impacto energético es mayor en meses con precipitación (julio-noviembre) debido a la disminución del gasto mínimo y a la reducción de la energía potencial química, mientras que el impacto energético de la fase 2 para esos meses es muy similar al impacto en la fase 1 debido al incremento volumétrico (por precipitación y por descarga local). Sin embargo, en meses de estiaje (enero-junio) el impacto energético es mayor en la fase 2, debido a que el caudal del río tiene menor gasto, pero mayor energía potencial química, lo que implica una reducción energética, incluso negativa en el mes de mayo.

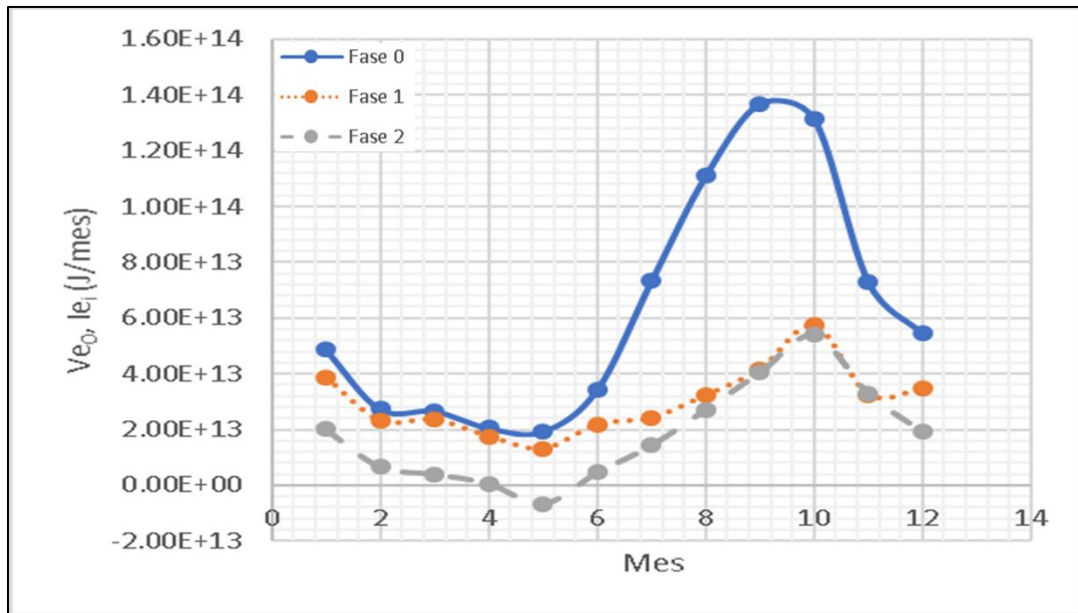


Figura 5.12. Impactos energéticos mensuales por fase.

5.4.PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES

El pago por servicios ambientales (PSA; etapa 12) es propuesto en base al impacto económico en el caudal del río (I_{eci}) en las diferentes fases de explotación de agua subterránea identificadas. El I_{eci} es calculado mediante la ecuación 4.5, la cual es función del impacto energético (I_e), del valor unitario de energía promedio (UEV_m) y de la relación energía/dinero en el país (2.86×10^{12} seJ/USD).

El promedio del valor económico del caudal mínimo de la fase inicial (V_{e0}) fue de USD\$ 101,570,783/año). Para la fase 1, el caudal del río sufrió impacto económico (I_{e1}) de 76%. Para la fase 2, el caudal del río se recuperó 63% de su valor económico con respecto a la fase 1, es decir, un impacto económico (I_{e2}) del 44% de la fase 0 a la fase 2.

La tabla 5.10 muestra del valor económico mensual de la fase inicial (V_{e0j}), el impacto económico mensual de la fase 1 y 2 (I_{eci}), el promedio del valor económico anual de la fase 0, y el promedio del impacto económico anual por fase (I_{eA}). Donde se puede observar que valor económico del río es mayor en temporada con precipitación (julio-noviembre), así mismo los impactos monetarios son mayores en estos meses. Mientras que los menores valores económicos son en temporada de estiaje, así como los menores impactos económicos.

Tabla 5.10. Valor monetario en fase 0 e impactos económicos por fase.

Mes	V _{e0} (USD/mes)	I _{ec1} (USD/mes)	I _{ec2} (USD/mes)
1	7,131,680	7,592,540	3,931,742
2	4,120,004	4,552,013	1,302,007
3	2,853,943	4,615,190	774,532
4	2,199,767	3,437,791	116,380
5	2,685,393	2,566,967	-1,298,102
6	3,524,429	4,272,375	896,272
7	8,077,146	4,741,636	2,816,991
8	13,971,589	6,336,986	5,339,414
9	20,248,230	8,169,890	7,981,152
10	17,698,750	11,247,050	10,580,816
11	10,361,886	6,368,060	6,458,257
12	8,697,966	6,780,857	3,757,604
I _{eA}	101,570,783	70,681,356	44,372,526

Pese a haber un menor impacto económico en la fase 2, el caudal del río no presenta una mejora cualitativa. Por lo que esta reducción del caudal del río es debido al incremento volumétrico y no cualitativo, lo que representa las afectaciones cualitativas del caudal del río de la población local y las afectaciones volumétricas del trasvase. Tal como se mencionó en el análisis del impacto energético, el impacto volumétrico ha estado gradualmente compensando el valor energético. Es por ello, que es recomendable agregar al impacto económico, el equivalente del tratamiento de las aguas residuales descargadas. Por ejemplo, únicamente considerando el equivalente del consumo energético (tablas V.37-V39). El equivalente económico del consumo energético por tratamiento fue estimado a partir del valor unitario de energía de la electricidad (2.00×10^5 ; Fonseca, 2014), del consumo de energía eléctrica (1.17×10^6 J/m³; Fonseca, 2014), el gasto de descarga local y la relación energía dinero (2.86×10^{12} seJ/USD; Brown and Bardí, 2001). Por lo que, las tablas V34 a V36 muestra el equivalente económico del gasto por consumo de energía eléctrica por tratamiento, considerando un tratamiento por lodos activados cíclico.

De esta manera, es posible evaluar el impacto monetario al caudal del río. Por lo que, las tablas V37 a V39, muestran el impacto económico mensual del río a lo largo del tiempo, considerando que todo el gasto de descarga local tiene un previo tratamiento.

De esta manera, es posible asociar los impactos económicos por consumo local y por trasvase al impacto económico del río, mediante una ponderación del gasto de extracción de agua subterránea, atribuyendo el porcentaje de extracción de agua subterránea de cada una de ellas. Las tablas V40 y V41 muestran el pago por servicios ambientales anuales imputables al consumo local y al trasvase debido al volumen de extracción de agua subterránea para el periodo de estudio de la fase 2, ya que, en la fase 1, sólo existieron extracciones de agua subterránea por trasvase, los impactos económicos se atribuyen directamente al trasvase en la fase 1.

Los impactos económicos de la explotación de agua subterránea a los caudales superficiales son atribuibles inicialmente en la fase 1 directamente al trasvase, debido a: a) la ausencia de explotación de agua subterránea por consumo local; b) la explotación directa de las aguas superficiales el inicio de la operación del trasvase (Torres, 2014).

La figura 5.13 muestra gráficamente el impacto económico en el río Lerma, así como el impacto económico correspondiente al consumo local y al trasvase. Donde se puede observar que inicialmente, la todo el impacto económico es atribuible al trasvase, debido a la baja explotación de agua subterránea por consumo local, lo que ha cambiado a lo largo del tiempo. Actualmente, los impactos económicos son iguales o mayores por consumo local, debido a que el gasto por consumo local es igual o mayor al gasto de trasvase. Además, se puede observar que el impacto económico del río tiende a ser menor debido al gasto de extracción de agua subterránea, sin embargo, debido a las descargas de agua residual de la población local hacia los cuerpos de agua superficial, los impactos económicos continúan.

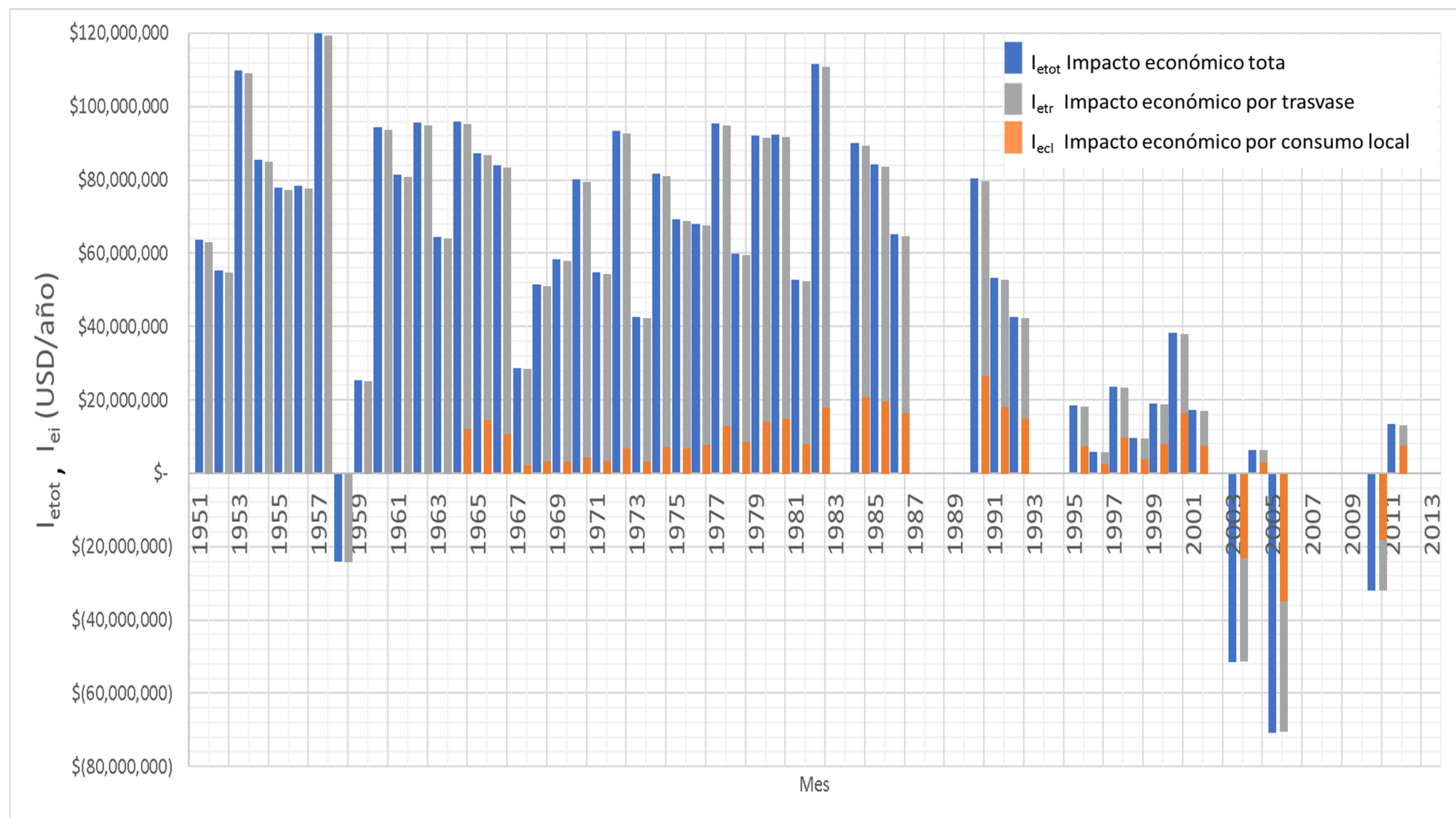


Figura 5.13. Impacto económico total (I_{etot}) e impactos económicos por explotación de agua subterránea (I_e) en caudal mínimo.

Conociendo el gasto promedio anual de extracción de agua subterránea por trasvase y por consumo local de la segunda fase (309,802,046 m³/año) y el promedio del impacto económico anual del caudal del río de la fase 2 (USD\$ 48,988,549/año), se puede concluir que, un pago por servicios ambientales debido a la extracción de agua subterránea de USD\$ 0.16/m³, puede ser una herramienta en la gestión de los trasvases. Dicha herramienta puede servir como estrategia para el mejoramiento de las fuentes de las que se extrae el vital líquido. La cual puede ayudar a mantener o recuperar áreas forestales y evitar el cambio de uso de suelo.

CONCLUSIONES

La metodología propuesta en el presente trabajo permitió cumplir con el objetivo general planteado, evaluar los impactos volumétricos y energéticos en caudales superficiales por trasvase. Lo cual, sirve como herramienta de soporte para la estimación de un pago por servicios ambientales (PSA) asociado a externalidades. Para ello, se construyó un modelo conceptual del fenómeno a estudiar (objetivo específico 1), en el que se identificaron las variables que ejercen una presión sobre caudales superficiales. Entre dichas variables, las asociadas con la extracción de agua subterránea permitieron identificar fases de explotación en función del tiempo (objetivo específico 2). De la misma manera, fue posible inferir otras variables como las aportaciones de agua residual hacia los cuerpos de agua superficial en función de la población. Las relaciones entre las variables fueron representadas por medio de diagramas de flujo de materia y energía con el fin de estimar las variaciones volumétricas y energéticas con base en las fases planteadas (objetivo específico 3 y 4). Estas variaciones proporcionaron la información necesaria para la propuesta de un pago por servicios ambientales hidrológico causado por las externalidades del trasvase de agua intercuenas en el caso de estudio: el Sistema Lerma.

Las fases de explotación mostraron una desagregación de los efectos de la explotación por consumo local y por trasvase. Para ello, se realizó una aproximación al estado natural de un caudal superficial, es decir, sin alteraciones debido a actividades antropogénicas. Debido a esto, fue posible asociar los caudales mínimos al caudal base en la fase 0 o fase natural.

A partir de los registros de explotación de agua subterránea, se identificaron dos fases de explotación adicionales. La primera correspondió a la explotación por trasvase, mientras que la segunda representó el efecto combinado de la explotación de trasvase y para consumo local. En estas fases, además, se pudo observar el incremento significativo de una aportación a los caudales superficiales proporcionado por las descargas locales. Por ello, el análisis sobre los caudales hizo referencia a caudales mínimos en lugar del término caudal base.

Debido a la naturaleza tan compleja de la hidrodinámica entre aguas superficiales y subterráneas, fue necesario estimar los efectos del trasvase por medios indirectos, tales

como, la identificación de fases. Para ello, fue necesario, por un lado, realizar una búsqueda exhaustiva de datos históricos de la explotación de agua subterránea por trasvase, y por otro lado, inferir la explotación de agua subterránea por consumo local, a partir de la demanda de agua y el volumen de concesión de agua superficial para uso urbano.

En el presente trabajo, se ha demostrado que la explotación de agua subterránea para abastecer al trasvase Sistema Lerma, ha provocado una reducción del caudal mínimo en el caudal superficial de la cuenca del CARL (río Lerma). En la fase 2 se pudo percibir una mayor correlación entre el gasto de trasvase y el caudal mínimo. Para ello, fue propuesta el valor del caudal mínimo relativo tanto al gasto de descarga local como a la precipitación. A pesar de mostrar un valor relativamente bajo, el coeficiente de determinación en la fase 2 aumentó de manera considerable, más de 67 veces, en relación con la fase 1. Cabe resaltar que, en cualquier caso, los impactos estimados para la fase 1 pueden ser imputados al trasvase dado que en dicha fase se presentó la explotación directa de las aguas superficiales.

En relación con los impactos energéticos, se observó un constante deterioro en la calidad del agua superficial debido a las descargas de agua residual. Este deterioro fue evaluado a partir de la energía potencial química del agua, siendo una función de sólidos disueltos totales (SDT). Para determinar la energía potencial química asociada al caudal mínimo, se propuso un factor de ponderación entre el gasto del caudal mínimo con la calidad de agua en la fase 0, con respecto al gasto de descarga de la población con su correspondiente concentración de SDT. Con ello, se confirmó tanto la pérdida cuantitativa como cualitativa del caudal base en el río en estudio (río Lerma).

Los efectos energéticos estimados, permitió establecer un indicador entre las afectaciones cuantitativas y cualitativas debido a la explotación de agua subterránea. En la interpretación de este indicador resultó que las variaciones volumétricas fueron mucho mayores que las cualitativas. Sin embargo, un incremento volumétrico no necesariamente representa un incremento en la utilidad monetaria percibida por el sistema socioeconómico.

A partir de los impactos volumétricos y energéticos, se estimó un pago por servicios ambientales (impacto económico) para ambas fases de explotación. Dicho pago, resultó de USD\$ 0.16/m³ el cual puede servir como herramienta en la gestión de los trasvases, para

mantener o recuperar áreas forestales y evitar el cambio de uso de suelo. En este sentido, se recomienda realizar una evaluación económica para determinar la diferencia entre los pagos compensatorios históricos registrados en los convenios del trasvase y el PSA remamente.

Se concluye que los trasvases de agua intercuencas pueden provocar afectaciones ambientales en la cuenca cedente del recurso hídrico. Estas afectaciones son tan complejas como el mismo fenómeno de trasvase. Por lo que, la estimación de los impactos asociados puede ser mejorada en función de componentes adicionales como el radio de influencia de pozos de explotación y cambio de uso de suelo, ente otros.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, F. & Alcántara, V., (2011). De la Economía Ambiental a la Economía Ecológica. Madrid: CIP-Ecosocial.
- Ahmad, Yusuf J., Salah El Serafy, and Ernst Lutz. 1989. Environmental accounting for sustainable development. A UNEP-World Bank Symposium. Washington, DC: The World Bank
- Alchetron. (2017). elacuarista. Octubre 01, 2017, de Alchetron Sitio web: <https://alchetron.com/Gammarus-pulex-2578605-W>
- American Water Works Association. (2014). Electrodialysis and Ion-Exchange Membrane Systems. USA: AWWA.
- Banco de México (2018). MERCADO CAMBIARIO (TIPOS DE CAMBIO. Recuperado en junio del 2018. <http://www.anterior.banxico.org.mx/portal-mercado-cambiario/>
- Bashitialshaaer, R., Persson, K. M., & Larson, M. (2008). Mixing Time for the Dead Sea Based on Water and Salt Mass Balances. In M. Balaban (Ed.), Euromed 2008 Cooperation among Mediterranean Countries of Europe and the MENA Region.
- Bergara, M., Berreteá, N., Della, U., Fachola, G., Ferre, Z., Gonzalez, M.J., Patrón, R., Rossi, M., Spremolla, A., Tensini, R., Terra, I., Torello, M., Triunfo, P., Vicente, L. and Vaillant, M. (2003). economía para NO ECONOMISTAS. Montevideo: Departamento de Sociología, Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de la República.
- Boehm, Brigitte. 2003. Historia de la tecnología hidráulica: cultura, y medio ambiente en la Cuenca Lerma-Chapala. In: Óscar González Seguí (coord). Estudios Michoacanos. México: Colegio de Michoacán. pp:37-76.
- Bohem, B. y Sandoval, M. (1999). La sed saciada de la Ciudad de México: la nueva cuenca Lerma-Chapala-Santiago. Un ensayo metodológico de lectura cartográfica. In: Relaciones Vol. XX, núm. 80. pp: 15-68.
- Brown, M.T., Bardi, E. (2001) Emergy of ecosystems, Folio #3. HandBook of emergy evaluation, Center of Environmental Policy, University of Florida. Gainesville.
- Brown, M., Bardy, E., Campbell, D. E., Haung, s., Ortega, E., Rydberg, T., Tilley, D. y Ulgiati, S. (2007). EMERGY SYNTHESIS 4: Theory and Applications of the Emergy Methodology. Gainesville, Florida: University of Florida.
- Brisbane Declaration. 2007. Proclaimed at the 10th International River Symposium and International Environmental Flows Conference, held in Brisbane, Australia, September 2007.
- Bueno Soria, J. 2004. Insectos del orden Trichoptera de la Sierra Tarahumara, Chihuahua, México. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Biología. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. X007. México, D.F.

- Campbell, P. (2009). TDS-Total Dissolved Solids. USA: West Virginia dep.
- Campbell, Dan. (2013) Emergy Accounting: Past, Present and Future. Presented at International Society for River Science. 3rd Biennial Symposium, Beijing, CHINA, August 05 – 09.
- Chilton, J. (1992). Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring. USA: UN.
- CONAGUA. (2007). Manual de agua y alcantarillado saneamiento. México: SEMARNAT.
- CONAGUA. (2010). El Agua en México: Cauces y Encauces. México: Academia Mexicana de Ciencias.
- CONAGUA. (2017). Banco Nacional de Aguas Superficiales. 2017, de CONAGUA Sitio web:
<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/Portada%20BANDAS.htm>
- CONAGUA, WWF, BIF. (201). NORMA MEXICANA NMX..AA..159..SCFI..2012. México: CONAGUA.
- CONAGUA. (2015). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Valle de Toluca (1501), Estado de México. México: CONAGUA.
- Costanza, R. (1989). What is ecological economics?. En ECOLOGICAL ECONOMICS(1-7). USA: Elsevier.
- Constanza, R., Cumberland, R., Daly, H., Goodland, R., & Norgaard, R. (1997). An Introduction to Ecological Economics. USA: CRC Press and ISEE.
- COX, WILLIAM E. (1999a): “Preface”, pp. 5-7, en UNESCO: Interbasin water transfer. Proceedings of the International Workshop, UNESCO, Paris, 25-27 de abril de 1999, IHP-V, Technical Documents in Hydrology, n° 28, UNESCO, París, 229 pp.
- Ceballos, G. (2003): Ficha Informativa de los Humedales, Instituto de Ecología, UNAM, México.
- Chafra, P. y Cerón, P. (2016). Pago por servicios ambientales en el sector del agua: el Fondo para la Protección de Agua. Tecnología y Ciencias del Agua. Redalyc, VII, 16.
- Clarck, I. (2015). Groundwater Geochemistry and Isotopes. London: CRC Press.
- DALY, H.E. (1990), Toward some operational principles of sustainable development, Ecological Economics, vol. 2, n° 1, pp. 1-6
- Diario Oficial de la Federación (2008). “Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios de disponibilidad media anual de las aguas subterráneas de 30 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, mismos que forman parte de las regiones hidrológicas que se indican”, Diario Oficial de la Federación, enero, México.

- Díaz-Delgado, C., Fonseca, C. R., Esteller, M. V., Guerra, V. H. y Fall, Ch. (12 de Julio del 2013). The establishment of integrated water resources management based on emergy accounting. *ELSEVIER*, 1, 16.
- Díaz-Delgado, C., Esteller, M.V., Velasco-Chilpa, A., Martínez-Vilchiz, J., Arriaga-Jordán, C.M., Vilchiz-Franés, A.Y., Manzano-Solis, L.R., Colín-Mercado, M., Miranda-Juárez, S., Uribe-Caballero, M.L.W., Peña-Hinojosa, A. 2009. Guía de planeación estratégica participativa para la gestión integrada de los recursos hídricos de la cuenca Lerma-Chapala-Santiago, Capítulo Estado de México y Red Interinstitucional e Interdisciplinaria de Investigación, Consulta y Coordinación Científica para la Recuperación de la Cuenca Lerma-Chapala-Santiago (RED LERMA).
- elacuarista. (2017). Los alimentos vivos, Gammarus. octubre 01, 2017, de elacuarista Sitio web: <http://www.elacuarista.com/alimentos/gammarus.htm>
- Escolero, O., Martínez, S., Kralisch, S. & Perevochtchicova, M.. (2009). Vulnerabilidad de las Fuentes de Abastecimiento de Agua Potable en la Ciudad de México en el Contexto de Cambio Climático. México: UNAM.
- Fall, A, Hinojosa-Peña y M. c. Carreño-de-Leon. (19 December 2006). Design of a monitoring network and assessment of the pollution on the Lerma river and its tributaries by wastewaters disposal. *ScienceDirect*, 1, 12.
- FAO. (2013). Afrontar la escasez del agua. Roma: ONU.
- Farber, E., Vengosh, A., Gavrieli, I., Marie, A., Bullen, T., Mayer, B., Holtzman, R., Segal, M. & Shavite, U. (2004). The origin and mechanisms of salinitation of the lower Jordan River. *Elsevier*, 68, 17.
- Figuerola-Vega, G.E., 2004, El agrietamiento en la ciudad de Toluca: Consejo Consultivo del Agua
- (Finlayson et al., 1994).
- Foladori, G. (2001). Controversias Sobre Sostentibilidad La ecoevolución Sociedad-Naturaleza. México: Grupo editorial Miguel Angel Porrúa.
- Fonseca, C. (2014). sistema de modelos termohidrológicos de evaluación de eficiencia y optimación en asignación de recursos hídricos. Toluca: CIRA.
- Fonseca, C.R., Esteller, M.V. y Díaz-Delgado, C. (2013). Territorial approach to increased energy consumption of water extraction from depletion of a highlands Mexican aquifer. *Journal of Environmental Management*, 1, 11.
- Fonseca, C. R., Díaz, C., Esteller, M. V. y García, D. (2016). Geoinformatics tool with an emergy accounting approach for evaluating the sustainability of water systems: Case study of Lerma river, México. *ECOLOGICAL ENGINEERING*, 1, 18.
- Flores, R. (2008). Gestion Para que se le de mantenimiento a la presa José Antonio Alzate, en Tlachaloya. *PODER EDOMEX*, 1.

- García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Cöppen. México: UNAM.
- Gasick, M. (2013). Handbook of Ferroalloys Theory and Technology. USA: Elsevier Ltd.
- Gohari, A, Eslamian, S, Mirchi, A, Abedi, J, Massha, A and Madani, K. (2013). Water transfer as a solution to water shortage: A fix that can Bacfire. Journal of Hydrology, 1, 17.
- Guevara, S., Arellano, O. and Fricke, J. (2014). Ríos tóxicos: Lerma y Atoyac la historia de negligencia continúa. GREENPEACE, 1, 13.
- Gupta & van der Zaag. (2007). Interbasin water transfers and integrated water resources management: Where engineering, science and politics interlock. ELSEVIER, 33, 40.
- Hanley, N., Shogren, J. F. y White, B. (1997). Environmental Economics: Theory and Practice. London: McMillan.
- Hopkinson and Young, 1998
- INEGI. (2016). Estadísticas a propósito del día mundial de humedales. México: INEGI.
- Izursa, J.. (2011). Emergía (con M), una herramienta nueva para estimar el valor de la madera en el bosque. En Ecología en Bolivia (6). Maryland: U. Maryland.
- Jansson, A.-M. (ed.). 1984. Integration of economy and ecology: An outlook for the eighties. Proceedings from the Wallenburg Symposia. Stockholm: Sundt Offset.
- Jiménez, B., Torregrosa, M. A. & Aboites, L. (2010). El Agua en México: cauces y encauces. México: CONAGUA.
- Legorreta, J. (2006). El agua y la ciudad de México de Tenochtitlan a la megalópolis del siglo XXI. México: UAM-A.
- Lipchin, C., Sandler, D., Cushman., E. (2007). The Jordan river and the dead sea. The Netherlands: Springer.
- Llano, M. y Fernández, H. (2017). Análisis y propuesta para la conservación de la biodiversidad en México 1995-2017. México: The Green web foundation.
- Lloret, P. (2011). El agua en la economía verde en la práctica: hacia Río +20. España: UN-WATER.
- Lozano, L. (7 diciembre 2005). LA BIOINDICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA: IMPORTANCIA DE LOS MACROINVERTEBRADOS EN LA CUENCA ALTA DEL RIO JUAN AMARILLO, CERROS ORIENTALES DE BOGOTA. Umbral Científico, 7, 5-11.
- Martinez, J. 1987. Ecological economics: Energy, environment, and society. Cambridge, MA: Blackwell.

- Meek, S. (1904). The fresh-water fishes of Mexico north of the Isthmus of Tehuantepec. octubre 01, 2017, de Goodeid Working Group Sitio web: <http://www.goodeidworkinggroup.com/girardinichthys-multiradiatus>
- Mei, J., Zhan, C.Bo, Z., Cheng, L., Hua, X., Yi, Z., & Bo, Z. (2010). Ecological Economic Evaluation Based on Emergy as Embodied Cosmic Exergy: A Historical Study for the Beijing Urban Ecosystem 1978–2004 . *entropy*, 12, 24.
- Morán, Ch. y Área de Educación. (2017). ¿qué es la economía ecológica?. Madrid: Barcelona.
- Morse, J. (2017). Humpless Casemaker Caddisflies. octubre 01, 2017, de Macroinvertebrates.org Sitio web: <http://www.macroinvertebrates.org/#/trichoptera/brachycentridae>
- (Nathan and McMahon, 1990).
- Odum, E. (1989). Ecology and Our Endangered Life-Suport Systems. STANFORD: SINAUER ASSOCIATES.
- Odum, H. T. & E. C. Odum. 1981. Energy basis for man and nature. 2da. edic. McGrawHill, Inc., Nueva York.
- Odum, H. (1996). Environmental Accounting Emergy and Environmental Decision Making. USA: John Wiley & Sons, inc.
- Odum, E. & Barret, G. (2002). Fundmentals of Ecolgy. New York: THOMSON.
- OMM (Organisation Météorologique Mondiale) (1996) Guide des pratiques hydrologiques: acquisition et traitemetn des donnés, analysis, prévision et autres applications, Genève. Suisse.
- ONU. (2005). Temas de Población y Desarrollo. México: ONU.
- Peet, John. 1992. Energy and the ecological economics of sustainability. Washington, DC: Island Press.
- Peña, P. & Levi, E. (1989). Historia de la hidráulica en México: Abastecimiento de agua desde la época prehispánica hasta el Porfiriato. México: UNAM.
- Pulselli, F., Coscieme, L. & Bastianoni, S. (Mayo, 2011). Ecosystem services as a counterpart of emergy flows to ecosystems. *Ecological Modelling*, 1, 5.
- Salas, J., Gárfias J., Llanos H. & Martel R.. (2011). Modelo numérico 1D de la dinámica de infiltración en la zona no saturada, acuífero valle de Toluca. *SciELO*, 28, 14.
- Salinas, H., Flores, L., García J. A., Tejada S. y López B. . (20015). Modelación del Curso Alto del Río Lerma (CARL), utilizando QUAL2Kw, considerando la distribución y variación de nitrógeno amoniacal y nitrógeno como nitratos. *Aqua-LAC*, 8, 10.

- SCFI. (2015). NMX-AA-034-SCFI-2015. Análisis de agua-Medición de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas- Método de prueba. Secretaria de Comercio y Fomento Industrial.
- SEMARNAT (2010) Plan maestro para la restauración ambiental de la cuenca alta del río Lerma. Diagnóstico ecosistémico Tomo III. Marco Físico-Biótico, Gobierno del Estado de México/ Universidad de Chapingo.
- Smakhtin, V. U. (13 July 2001). Low flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology*, 240, 147-186.
- Tongal, H., Booij, M.J., Simulation and forecasting of streamflows using machine learning models coupled with base flow separation, *Journal of Hydrology* (2018), doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.07.004>
- Torres, L. (2014). SISTEMA LERMA: una visión política en la gestión pública del agua, ¿solución Estatal o Federal?. Toluca, México: iapem.
- Unisféra International Centre. (2004). Pago por servicios ambientales: Estudio y evaluación de esquemas vigentes. Montreal: UNISFÉRA.
- UN-Water. 2006a. The United Nations World Water Development Report 2: Water, a shared responsibility. World Water Assessment Programme (WWAP). Doc. no. UN-WATER/ WWAP/2006/3. Unesco, Paris, France, and Berghahn Books, New York, USA. Available at [http:// unesdoc.unesco.org/images/0014/001444/144409e.pdf](http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001444/144409e.pdf) Accessed 3 July 2012.
- USCE. (2000). Hydrologic Modeling System HEC-HMS. California: USACE.
- Vargas, S. (2007). Agua y Sociedad en el Alto Lerma: El Módulo Tepetitlan. IMTA, 4, 17.
- Vega, J. A. (2015). Programa para el pago por servicios ambientales hidrológicos visto como una opción de compensación por el cuidado de los bosques del Estado de México. Toluca: UAEMex.
- WALIR & El Colegio de San Luis. (2003). Seminario-Taller: Usos, Protección y Defensa del Agua en Territorios Indígenas. San Luis Potosi: El Colegio de San Luis.
- World Helth Organization. (2004). Guidelines for drinking-water quality. Geneva: WHO.
- WWF. (2017). Fondo para la conservación de la mariposa monarca. Mèxico: WWF.
- Yan, Z., Shou, Z., Sang, X. and Wang. (7 June 2018). Water replenishment for ecological flow with an improved water resources allocation model. *Science of the Total Environmetn*, 643, 1152-1165.
- Zhu, X., Wu, J., Nie, H., Guo, F., Wu, J., Chen, K., Liao, P., Xu, H., Zeng, X. (2018). Quantitative assessment of the impact of an inter-basin surface-water transfer project on the groundwater flow and groundwater-dependent eco-environment in an oasis in arid northwestern China, *Hydrogeology Journal*, doi.org/10.1007/s10040-018-1804-4.

I. ANEXOS

En los anexos, se presenta información citada dentro de los diferentes apartados de este trabajo de investigación, así como las diferentes tablas y figuras referenciadas a lo largo de este trabajo, además, también se presenta el procedimiento realizado para determinar la concentración de SDT para los arroyos encontrados con presencia de caudal ecológico para inferir el estado natural del río Lerma en la fase inicial (fase 0).

a. ANEXO I. TRAYECTORIA ORIGINAL Y ACTUAL DEL RÍO LERMA

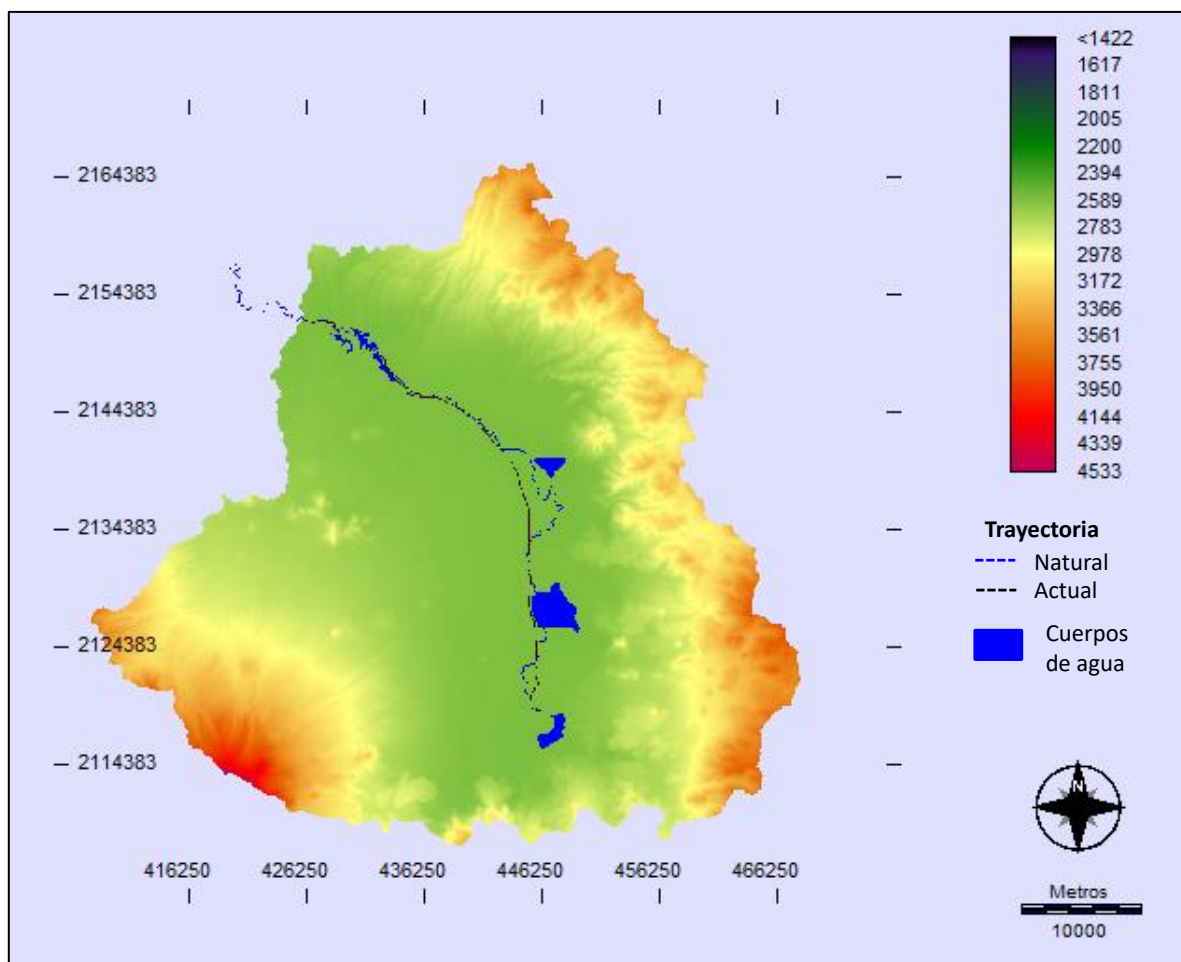


Figura AI. 1. Modelo digital de elevación con la trayectoria natural y actual del río principal de la cuenca del CARL.

Tabla A1.1. Comparación del balance de masa con las descargas de agua residual de la población dentro de las subcuencas de los tributarios

Tributarios de Balance de Masa		Q _{BM} (L/s)	Q _{est} (L/s)	Municipios y localidades asociadas a descargas hacia tributarios de subcuencas del CARL en relación al balance de masa de materia orgánica en el CARL														
1	Mex-Tol	591	573	Almoloya del río	Atizapán	Calimaya	Capulhuac	Chapultepec	Joquicingo	Mexicaltzingo	Ra-yón	San Antonio la Isla	Tenango del valle	Texcalyacac	Tianguistenco	Xalatlaco	Ocoyoacac (parcial)	Ocuilán
				15.13	15.08	65.63	52.20	11.14	7.91	17.20	18.54	9.82	116.24	7.64	108.95	33.48	90.02	3.88
2	Recidagua	450	450	Industrial 450.00														
3	Ameyalco	95	56	Lerma (parcial) 54.45	Ocoyoacac (parcial) 1.77													
4	El Llano	45	37	Lerma (parcial) 37.26														
5	Atarasquillo	10	44	Lerma (parcial) 44.063														
6	Canal Totoltepec	1000	771	Almoloya de Juárez 32.00	Lerma 42.94	Metepec 447.06	San Mateo Atenco 112.97	Toluca (parcial) 135.98										
7	Xonacatlán	95	80	Huixquilucan 3.68	Naucalpan de Juárez 0.09	Xonacatlán 76.64												
8	Toluca-Norte	1250	1316	Toluca (parcial) 1316.42														
9	Santa Catarina	520	114	Ozolotepec 114.45														
10	San Lorenzo	0	10	Toluca (parcial) 9.50														
11	Verdigué	100	94	Toluca (parcial) 93.92														
12	Tejalpa	426	263	Zinacantepec 200.89	Toluca (parcial) 62.01													
13	Temocaya	28	132	Jiquipilco 0.628	Temocaya 131.547													
14	Est Y	4109	3941															

b. ANEXO II. GASTO POR CONSUMO LOCAL Y DESCARGA LOCAL EN LA CUENCA DEL CARL 1930-2015

Tabla AII. 1. Demanda y aportación de agua en la cuenca del CARL 1930 - 1940.

Año Municipio		Demanda y aportación de agua residual por municipio en la cuenca del CARL									
		1930					1940				
		Población	NSE prom	Dotación (l/hab/día)	Qcl (l/día)	Qdl (l/día)	Población	NSE prom	Dotación (l/hab/día)	Qcl (l/día)	Qdl (l/día)
1	Almoloya de Juárez	2,316	Media	195	451,620	338,715	2,887	Media	195	562,965	422,224
2	Almoloya del Río	2,441	Popular	100	244,100	183,075	2,702	Popular	100	270,200	202,650
3	Atizapan	1,524	Popular	100	152,400	114,300	1,559	Popular	100	155,900	116,925
4	Calimaya	8,252	Popular	100	825,200	618,900	9,871	Popular	100	987,100	740,325
5	Capulhuac	8,032	Popular	100	803,200	602,400	7,152	Popular	100	715,200	536,400
6	Chapultepec	1,093	Popular	100	109,300	81,975	1,201	Popular	100	120,100	90,075
7	Huixquilucan	0	Media	195	0	0	0	Media	195	0	0
8	Jiquipolco	0	Popular	100	0	0	0	Popular	100	0	0
9	Joquicingo	1,423	Popular	100	142,300	106,725	1,460	Popular	100	146,000	109,500
10	Lerma	15,511	Popular	100	1,551,100	1,163,325	17,300	Popular	100	1,730,000	1,297,500
11	Metepec	13,701	Popular	100	1,370,100	1,027,575	15,460	Popular	100	1,546,000	1,159,500
12	Mexicaltzingo	1,941	Popular	100	194,100	145,575	2,032	Popular	100	203,200	152,400
13	Naucalpan de Juárez	0	Media	195	0	0	0	Media	195	0	0
14	Ocoyoacac	9,770	Popular	100	977,000	732,750	10,255	Popular	100	1,025,500	769,125
15	Otzolotepec	10,799	Popular	100	1,079,900	809,925	12,921	Popular	100	1,292,100	969,075
16	Rayón	1,891	Popular	100	189,100	141,825	2,080	Popular	100	208,000	156,000
17	San Antonio la Isla	2,217	Popular	100	221,700	166,275	2,414	Popular	100	241,400	181,050
18	San Mateo Atenco	6,528	Popular	100	652,800	489,600	7,267	Popular	100	726,700	545,025
19	Temoaya	11,480	Popular	100	1,148,000	861,000	14,903	Popular	100	1,490,300	1,117,725
20	Tenango del Valle	17,137	Popular	100	1,713,700	1,285,275	18,187	Popular	100	1,818,700	1,364,025
21	Texcalyacac	1,209	Popular	100	120,900	90,675	1,417	Popular	100	141,700	106,275
22	Tianquistepec	10,423	Popular	100	1,042,300	781,725	13,385	Popular	100	1,338,500	1,003,875
23	Toluca	89,895	Popular	100	8,989,500	6,742,125	97,962	Popular	100	9,796,200	7,347,150
24	Xalatlaco	3,568	Popular	100	356,800	267,600	4,231	Popular	100	423,100	317,325
25	Xonacatlán	5,598	Popular	100	559,800	419,850	7,325	Popular	100	732,500	549,375
26	Zinacantepec	14,936	Popular	100	1,493,600	1,120,200	17,124	Popular	100	1,712,400	1,284,300
Gasto total (m³/seg)					0.2823	0.2117				0.3169	0.2377

Tabla AII. 2. Demanda y aportación de agua en la cuenca del CARL 1950 - 1960.

Año Municipio		Demanda y aportación de agua residual por municipio en la cuenca del CARL									
		1950					1960				
		Población	NSE prom	Dotación (l/hab/día)	Qdl (l/día)	Qdl (l/día)	Pblación	NSE prom	Dotación (l/hab/día)	Qcl (l/día)	Qdl (l/día)
1	Almoloya de Juárez	3,765	Media	195	734,175	550,631	4,539	Media	195	885,105	663,829
2	Almoloya del Río	2,985	Popular	100	298,500	223,875	3,387	Popular	100	338,700	254,025
3	Atizapan	1,811	Popular	100	181,100	135,825	2,250	Popular	100	225,000	168,750
4	Calimaya	11,007	Popular	100	1,100,700	825,525	12,335	Popular	100	1,233,500	925,125
5	Capulhuac	8,160	Popular	100	816,000	612,000	9,609	Popular	100	960,900	720,675
6	Chapultepec	1,460	Popular	100	146,000	109,500	1,531	Popular	100	153,100	114,825
7	Huixquilucan	0	Media	195	0	0	0	Media	195	0	0
8	Jiquipolco	0	Popular	100	0	0	0	Popular	100	0	0
9	Jocuingo	1,710	Popular	100	171,000	128,250	1,984	Popular	100	198,400	148,800
10	Lerma	23,631	Popular	100	2,363,100	1,772,325	27,814	Popular	100	2,781,400	2,086,050
11	Metepec	17,254	Popular	100	1,725,400	1,294,050	18,915	Popular	100	1,891,500	1,418,625
12	Mexicaltzingo	2,416	Popular	100	241,600	181,200	2,897	Popular	100	289,700	217,275
13	Naucalpan de Juárez	0	Media	195	0	0	0	Media	195	0	0
14	Ocoyoacac	12,423	Popular	100	1,242,300	931,725	14,574	Popular	100	1,457,400	1,093,050
15	Otzolotepec	15,463	Popular	100	1,546,300	1,159,725	15,990	Popular	100	1,599,000	1,199,250
16	Rayón	2,657	Popular	100	265,700	199,275	3,063	Popular	100	306,300	229,725
17	San Antonio la Isla	2,684	Popular	100	268,400	201,300	2,794	Popular	100	279,400	209,550
18	San Mateo Atenco	9,216	Popular	100	921,600	691,200	11,987	Popular	100	1,198,700	899,025
19	Temoaya	19,743	Popular	100	1,974,300	1,480,725	23,131	Popular	100	2,313,100	1,734,825
20	Tenango del Valle	20,972	Popular	100	2,097,200	1,572,900	24,628	Popular	100	2,462,800	1,847,100
21	Texcalyacac	1,342	Popular	100	134,200	100,650	1,222	Popular	100	122,200	91,650
22	Tlanguistenco	15,927	Popular	100	1,592,700	1,194,525	19,688	Popular	100	1,968,800	1,476,600
23	Toluca	115,019	Popular	100	11,501,900	8,626,425	156,033	Popular	100	15,603,300	11,702,475
24	Xalatlaco	4,965	Popular	100	496,500	372,375	5,047	Popular	100	504,700	378,525
25	Xonacatlán	8,592	Popular	100	859,200	644,400	10,600	Popular	100	1,060,000	795,000
26	Zinacantepec	21,921	Popular	100	2,192,100	1,644,075	26,617	Popular	100	2,661,700	1,996,275
Gasto total (m³/seg)					0.3804	0.2853				0.4687	0.3515

Tabla AII. 3. Demanda y aportación de agua en la cuenca del CARL 1970 - 1980.

Municipio	Año	Demanda y aportación de agua residual por municipio en la cuenca del CARL									
		1970					1980				
		Población	NSE prom	Dotación (l/hab/día)	Qcl (l/día)	Qdl (l/día)	Población	NSE prom	Dotación (l/hab/día)	Qcl (l/día)	Qdl (l/día)
1	Almoloya de Juárez	6,826	Media	195	1,331,070	998,303	8,025	Media	195	1,564,875	1,173,656
2	Almoloya del Río	3,714	Popular	100	371,400	278,550	6,193	Media	195	1,207,635	905,726
3	Atizapan	3,001	Popular	100	300,100	225,075	5,072	Popular	100	507,200	380,400
4	Calimaya	15,666	Popular	100	1,566,600	1,174,950	21,876	Media	195	4,265,820	3,199,365
5	Capulhuac	12,350	Popular	100	1,235,000	926,250	18,257	Media	195	3,560,115	2,670,086
6	Chapultepec	1,909	Popular	100	190,900	143,175	3,675	Media	195	716,625	537,469
7	Huixquilucan	0	Media	195	0	0	179	Media	195	34,905	26,179
8	Jiquipolco	0	Popular	100	0	0	369	Popular	100	36,900	27,675
9	Joquicingo	2,352	Popular	100	235,200	176,400	3,395	Popular	100	339,500	254,625
10	Lerma	36,071	Popular	100	3,607,100	2,705,325	57,219	Media	195	11,157,705	8,368,279
11	Metepec	31,724	Media	195	6,186,180	4,639,635	83,030	Media	195	16,190,850	12,143,138
12	Mexicaltzingo	4,037	Media	195	787,215	590,411	6,079	Media	195	1,185,405	889,054
13	Naucalpan de Juárez	0	Media	195	0	0	0	Media	195	0	0
14	Ocoyoacac	19,364	Popular	100	1,936,400	1,452,300	33,952	Media	195	6,620,640	4,965,480
15	Otzolotepec	20,203	Popular	100	2,020,300	1,515,225	29,112	Media	195	5,676,840	4,257,630
16	Rayón	3,831	Popular	100	383,100	287,325	5,888	Media	195	1,148,160	861,120
17	San Antonio la Isla	4,252	Popular	100	425,200	318,900	9,504	Popular	100	950,400	712,800
18	San Mateo Atenco	18,140	Popular	100	1,814,000	1,360,500	33,719	Media	195	6,575,205	4,931,404
19	Temoaya	30,192	Popular	100	3,019,200	2,264,400	34,120	Popular	100	3,412,000	2,559,000
20	Tenango del Valle	29,091	Popular	100	2,909,100	2,181,825	38,381	Media	195	7,484,295	5,613,221
21	Texcalyacac	1,604	Popular	100	160,400	120,300	2,381	Media	195	464,295	348,221
22	Tianguiestenco	24,600	Popular	100	2,460,000	1,845,000	37,017	Media	195	7,218,315	5,413,736
23	Toluca	238,438	Media	195	46,495,410	34,871,558	357,071	Media	195	69,628,845	52,221,634
24	Xalatlaco	7,625	Popular	100	762,500	571,875	11,877	Media	195	2,316,015	1,737,011
25	Xonacatlán	15,237	Popular	100	1,523,700	1,142,775	18,546	Media	195	3,616,470	2,712,353
26	Zinacantepec	38,798	Media	195	7,565,610	5,674,208	51,769	Media	195	10,094,955	7,571,216
Gasto total (m³/seg)					1.0103	0.7577				1.9210	1.4407

Tabla AII. 4. Demanda y aportación de agua en la cuenca del CARL 1990 - 1995.

Municipio	Año	Demanda y aportación de agua residual por municipio en la cuenca del CARL									
		1990					1995				
		Población	NSE prom	Dotación (l/hab/día)	Qcl (l/día)	Qdl (l/día)	Población	NSE prom	Dotación (l/hab/día)	Qcl (l/día)	Qdl (l/día)
1	Almoloya de Juárez	10,595	Media	195	2,066,025	1,549,519	12,646	Media	195	2,465,970	1,849,478
2	Almoloya del Río	6,777	Media	195	1,321,515	991,136	7,729	Media	195	1,507,155	1,130,366
3	Atizapan	5,339	Media	195	1,041,105	780,829	7,147	Media	195	1,393,665	1,045,249
4	Calimaya	24,906	Media	195	4,856,670	3,642,503	31,902	Media	195	6,220,890	4,665,668
5	Capulhuac	21,258	Media	195	4,145,310	3,108,983	25,900	Media	195	5,050,500	3,787,875
6	Chapultepec	3,863	Media	195	753,285	564,964	5,163	Media	195	1,006,785	755,089
7	Huixquilucan	926	Media	195	180,570	135,428	1,408	Media	195	274,560	205,920
8	Jiquipolco	517	Popular	100	51,700	38,775	628	Popular	100	62,800	47,100
9	Joquicingo	3,201	Media	195	624,195	468,146	4,494	Media	195	876,330	657,248
10	Lerma	66,912	Media	195	13,047,840	9,785,880	81,192	Media	195	15,832,440	11,874,330
11	Metepec	140,268	Media	195	27,352,260	20,514,195	178,096	Residencial	250	44,524,000	33,393,000
12	Mexicaltzingo	7,248	Media	195	1,413,360	1,060,020	8,662	Media	195	1,689,090	1,266,818
13	Naucalpan de Juárez	0	Media	195	0	0	0	Media	195	0	0
14	Ocoyoacac	37,395	Media	195	7,292,025	5,469,019	43,670	Media	195	8,515,650	6,386,738
15	Otzolotepec	40,407	Media	195	7,879,365	5,909,524	49,264	Media	195	9,606,480	7,204,860
16	Rayón	7,026	Media	195	1,370,070	1,027,553	8,300	Media	195	1,618,500	1,213,875
17	San Antonio la Isla	7,321	Popular	100	732,100	549,075	9,118	Popular	100	911,800	683,850
18	San Mateo Atenco	41,926	Media	195	8,175,570	6,131,678	54,089	Media	195	10,547,355	7,910,516
19	Temoaya	49,427	Media	195	9,638,265	7,228,699	60,851	Media	195	11,865,945	8,899,459
20	Tenango del Valle	45,952	Media	195	8,960,640	6,720,480	54,789	Media	195	10,683,855	8,012,891
21	Texcalyacac	2,961	Media	195	577,395	433,046	3,744	Media	195	730,080	547,560
22	Tianquistenco	42,448	Media	195	8,277,360	6,208,020	51,149	Media	195	9,974,055	7,480,541
23	Toluca	486,518	Media	195	94,871,010	71,153,258	563,246	Media	195	109,832,970	82,374,728
24	Xalatlaco	13,813	Media	195	2,693,535	2,020,151	17,362	Media	195	3,385,590	2,539,193
25	Xonacatlán	28,837	Media	195	5,623,215	4,217,411	36,141	Media	195	7,047,495	5,285,621
26	Zinacantepec	69,383	Media	195	13,529,685	10,147,264	87,982	Media	195	17,156,490	12,867,368
Gasto total (m³/seg)					2.6212	1.9659				3.2729	2.4547

Tabla AII. 5. Demanda y aportación de agua en la cuenca del CARL 2000 - 2005.

Municipio	Año	Demanda y aportación de agua residual por municipio en la cuenca del CARL									
		2000					2005				
		Pblació n	NSE prom	Dotación (l/hab/día)	Qcl (l/día)	Qdl (l/día)	Pblació n	NSE prom	Dotación (l/hab/día)	Qcl (l/día)	Qdl (l/día)
1	Almoloya de Juárez	14,271	Media	195	2,782,845	2,087,134	18,903	Media	195	3,686,085	2,764,564
2	Almoloya del Río	8,873	Media	195	1,730,235	1,297,676	8,939	Media	195	1,743,105	1,307,329
3	Atizapan	8,172	Media	195	1,593,540	1,195,155	8,909	Media	195	1,737,255	1,302,941
4	Calimaya	35,196	Media	195	6,863,220	5,147,415	38,770	Media	195	7,560,150	5,670,113
5	Capulhuac	28,808	Media	195	5,617,560	4,213,170	30,838	Media	195	6,013,410	4,510,058
6	Chapultepec	5,735	Media	195	1,118,325	838,744	6,581	Media	195	1,283,295	962,471
7	Huixquilucan	1,827	Media	195	356,265	267,199	2,173	Media	195	423,735	317,801
8	Jiquipolco	668	Popular	100	66,800	50,100	724	Popular	100	72,400	54,300
9	Joquicingo	5,537	Media	195	1,079,715	809,786	4,672	Media	195	911,040	683,280
10	Lerma	99,870	Media	195	19,474,650	14,605,988	105,578	Media	195	20,587,710	15,440,783
11	Metepec	194,463	Residencial	250	48,615,750	36,461,813	206,005	Residencial	250	51,501,250	38,625,938
12	Mexicaltzingo	9,225	Media	195	1,798,875	1,349,156	10,161	Media	195	1,981,395	1,486,046
13	Naucalpan de Juárez	0	Media	195	0	0	55	Media	195	10,725	8,044
14	Ocoyoacac	49,643	Media	195	9,680,385	7,260,289	54,224	Media	195	10,573,680	7,930,260
15	Otzolotepec	57,583	Media	195	11,228,685	8,421,514	67,611	Media	195	13,184,145	9,888,109
16	Rayón	9,024	Media	195	1,759,680	1,319,760	10,953	Media	195	2,135,835	1,601,876
17	San Antonio la Isla	10,321	Popular	100	1,032,100	774,075	11,313	Popular	100	1,131,300	848,475
18	San Mateo Atenco	59,647	Media	195	11,631,165	8,723,374	66,740	Media	195	13,014,300	9,760,725
19	Temoaya	69,306	Media	195	13,514,670	10,136,003	77,714	Media	195	15,154,230	11,365,673
20	Tenango del Valle	65,119	Media	195	12,698,205	9,523,654	68,669	Media	195	13,390,455	10,042,841
21	Texcalyacac	3,997	Media	195	779,415	584,561	4,514	Media	195	880,230	660,173
22	Tiangustenco	58,381	Media	195	11,384,295	8,538,221	64,365	Media	195	12,551,175	9,413,381
23	Toluca	664,928	Residencial	250	166,232,000	124,674,000	745,496	Residencial	250	186,374,000	139,780,500
24	Xalatlaco	19,018	Media	195	3,708,510	2,781,383	19,780	Media	195	3,857,100	2,892,825
25	Xonacatlán	41,402	Media	195	8,073,390	6,055,043	45,274	Media	195	8,828,430	6,621,323
26	Zinacantepec	100,811	Media	195	19,658,145	14,743,609	118,681	Media	195	23,142,795	17,357,096
Gasto total (m³/seg)					4.1954	3.1465				4.6496	3.4872

Tabla AII. 6. Demanda y aportación de agua en la cuenca del CARL 2010 - 2015.

Municipio	Año	Demanda y aportación de agua residual por municipio en la cuenca del CARL									
		2010					2015				
		Población	NSE prom	Dotación (l/hab/día)	Qcl (l/día)	Qdl (l/día)	Población	NSE prom	Dotación (l/hab/día)	Qcl (l/día)	Qdl (l/día)
1	Almoloya de Juárez	22,727	Media	195	4,431,765	3,323,824	0	Media	195	0	0
2	Almoloya del Río	10,886	Media	195	2,122,770	1,592,078	11,126	Media	195	2,169,570	1,627,178
3	Atizapan	10,299	Media	195	2,008,305	1,506,229	11,875	Media	195	2,315,625	1,736,719
4	Calimaya	47,033	Media	195	9,171,435	6,878,576	56,574	Media	195	11,031,930	8,273,948
5	Capulhuac	34,101	Media	195	6,649,695	4,987,271	35,495	Media	195	6,921,525	5,191,144
6	Chapultepec	9,676	Media	195	1,886,820	1,415,115	11,764	Media	195	2,293,980	1,720,485
7	Huixquilucan	2,452	Media	195	478,140	358,605	SR	Media	195	SR	SR
8	Jiquipolco	874	Popular	100	87,400	65,550	SR	Popular	100	SR	SR
9	Joquicingo	5,928	Media	195	1,155,960	866,970	SR	Media	195	SR	SR
10	Lerma	134,799	Media	195	26,285,805	19,714,354	146,654	Media	195	28,597,530	21,448,148
11	Metepec	214,162	Residencial	250	53,540,500	40,155,375	227,827	Residencial	250	56,956,750	42,717,563
12	Mexicaltzingo	11,712	Media	195	2,283,840	1,712,880	12,796	Media	195	2,495,220	1,871,415
13	Naucalpan de Juárez	1,169	Media	195	227,955	170,966	SR	Media	195	SR	SR
14	Ocoyoacac	61,805	Media	195	12,051,975	9,038,981	66,190	Media	195	12,907,050	9,680,288
15	Otzolotepec	78,146	Media	195	15,238,470	11,428,853	84,519	Media	195	16,481,205	12,360,904
16	Rayón	12,748	Media	195	2,485,860	1,864,395	13,261	Media	195	2,585,895	1,939,421
17	San Antonio la Isla	22,152	Media	195	4,319,640	3,239,730	27,230	Media	195	5,309,850	3,982,388
18	San Mateo Atenco	72,579	Media	195	14,152,905	10,614,679	75,511	Media	195	14,724,645	11,043,484
19	Temoaya	90,010	Media	195	17,551,950	13,163,963	103,834	Media	195	20,247,630	15,185,723
20	Tenango del Valle	77,965	Media	195	15,203,175	11,402,381	86,380	Media	195	16,844,100	12,633,075
21	Texcalyacac	5,111	Media	195	996,645	747,484	5,246	Media	195	1,022,970	767,228
22	Tiangustenco	70,682	Media	195	13,782,990	10,337,243	77,147	Media	195	15,043,665	11,282,749
23	Toluca	817,438	Residencial	250	204,359,500	153,269,625	873,536	Residencial	250	218,384,000	163,788,000
24	Xalatlaco	26,647	Media	195	5,196,165	3,897,124	29,572	Media	195	5,766,540	4,324,905
25	Xonacatlán	46,331	Media	195	9,034,545	6,775,909	51,646	Media	195	10,070,970	7,553,228
26	Zinacantepec	145,953	Media	195	28,460,835	21,345,626	188,927	Media	195	36,840,765	27,630,574
Gasto total (m³/seg)					5.2450	3.9337				5.6599	4.2449

c. ANEXO III. ARROYOS CON PRESENCIA DE CAUDAL ECOLÓGICO

Para identificar arroyos con presencia de caudal ecológico dentro de la cuenca del CARL, fue necesario realizar trabajo de campo, donde se identificaron 3 arroyos con presencia de especies acuáticas indicadores de la calidad del agua, lo cual permitió identificar estos caudales como caudales ecológicos, de estos tres arroyos se tomaron muestras de especies que los habitan y muestras de agua para determinar su concentración de Sólidos Disueltos Totales (SDT).

La cuenca del CARL, aún cuenta con cuerpos de agua con presencia de vida acuática, incluso con algunos caudales ecológicos, dentro de los arroyos que se encontraron con algún tipo de especies acuáticas y de donde se extrajeron muestras de agua para determinar su concentración de Sólidos Disueltos Totales (SDT)son:

- **MA:** es una muestra de agua de un arroyo dentro de la propiedad del señor Luciano Piedra Quiñones, ubicado en Acueducto # 116 esquina con División del Norte, colonia Guadalupe Hidalgo “El Pedregal”, municipio de Ocoyoacac, Edo. de Méx., con coordenadas geográficas; Latitud: 19°15'2.93"N y Longitud: 99°28'27.95"O. En este arroyo, se encontraron algunas especies acuáticas de peces como los peces llamados *Gyrardinichthis* (figura AIII.1; Meek, 1904), la cual es una especie endémica de la región en estudio (NOM-059-SEMARNAT-2010) entre otras especies que no se han podido identificar.
- **MB:** es una muestra de agua tomada a 5 metros del Manantial que alimenta al lugar conocido como “La Lagunilla”, ubicado en la delegación San Martín El Pedregal, Colonia Guadalupe Hidalgo, municipio de Ocoyoacac, Edo. de Méx., con coordenadas geográficas; Latitud: 19°14'53.19"N y Longitud: 99°26'43.96"O. En este lugar, se encontraron diversas especies dulce acuáticas como *Gammarus* (figura AIII.2; Alchetron), *Hirudinea* (figura AIII.3), *Trichoptera larvae* (figura AIII.4, Mores, 2017), víboras acuáticas, entre otras especies. Cabe mencionar que la especie *Trichoptera*, es una especie muy sensible a los contaminantes, por lo que ésta se alberga en arroyos con una baja concentración de SDT.

- **MC:** muestra de agua tomada del manantial conocido como “Ojo de agua”, ubicado entre carretera Ocoyoacac-Santiago Tianguistenco km 6.5 y carretera acueducto, en la colonia Guadalupe Hidalgo El Pedregal “La Conchita”, municipio de Ocoyoacac, Edo. de Méx., con coordenadas geográficas. Latitud: 19°14'56.81"N y Longitud: 99°28'26.31"O. En este manantial sólo se encontraron algunas especies de Gammarus.

Cabe mencionar que los lugares de muestreo MA y MC se encuentran en lugares con población cercana al lugar de muestreo, por lo que se espera que tengan una mayor concentración de SDT. Mientras que el lugar de muestreo MB, se encuentra aguas arriba donde no existe población cercana al lugar de muestreo (figura 5.3). Por lo que se espera que la concentración de SDT de esta muestra sea menor.

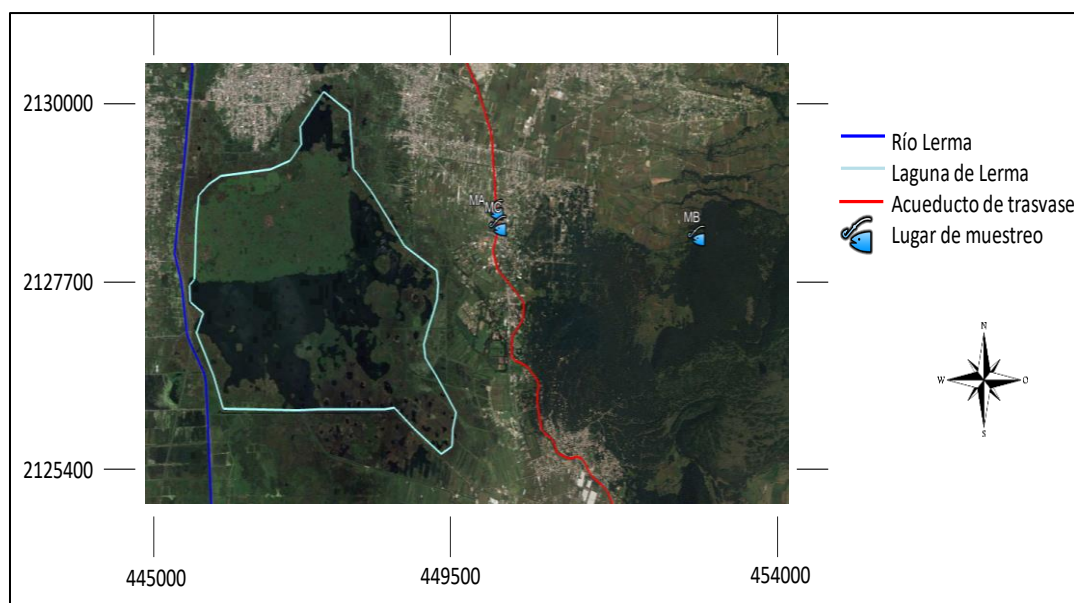


Figura AIII. 1. Ubicación de lugares de muestreo (MA, MB Y MC).

De los tres arroyos encontrados que tienen la capacidad de albergar un caudal ecológico, se tomaron muestras de agua para posterior determinar su concentración de Sólidos Disueltos Totales en el laboratorio de calidad del agua del Centro Interamericano de Recursos del Agua (CIRA) bajo la NMX-AA-034 (SCFI, 2015). La concentración de SDT presentes en las muestras de agua, son un factor determinante para estimar su energía potencial química mediante la energía libre de Gibbs ($G_{fe}^{A,B,C}$).

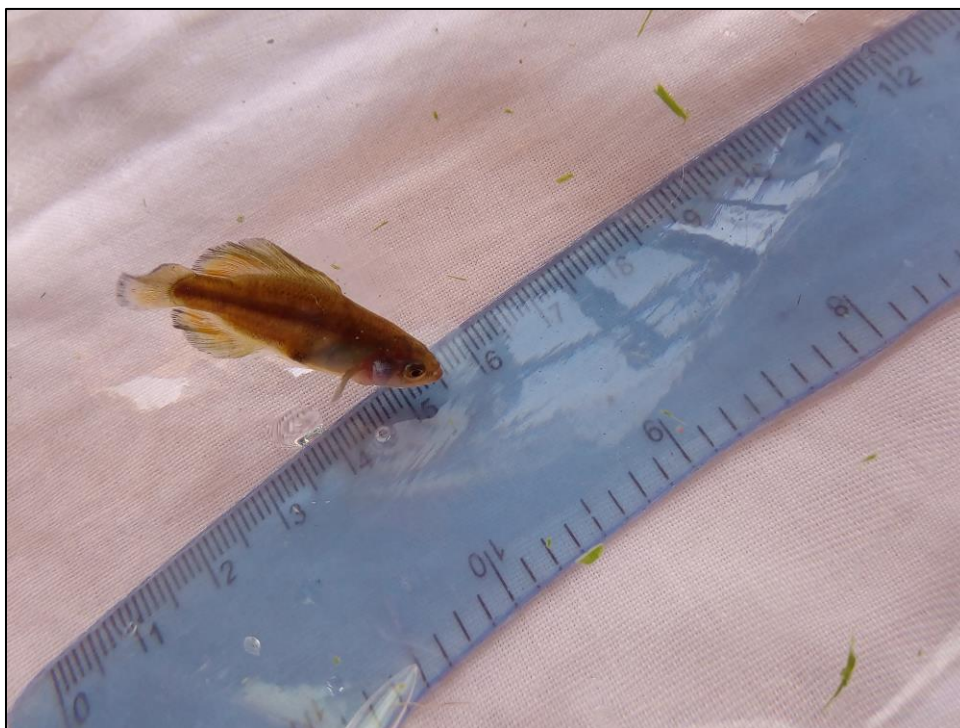


Figura AIII. 2. Girardinichthys tomado del lugar de muestreo MA.



Figura AIII. 3. Gammarus tomado del lugar de muestreo MB.



Figura AIII. 4. Gammarus y Hirudinea tomados del lugar de muestreo MB.



Figura AIII. 5. Trichoptera larvae tomado del lugar de muestreo MB.

i. ANEXO III.1. DETERMINACIÓN DE SDT EN CAUDALES ECOLÓGICOS

La M_A fue tomada el día 01 de octubre del 2017 a las 5:30 p.m., cabe mencionar que se contaba con la presencia de una ligera precipitación (llovizna) al momento de la toma de la muestra.

La M_B fue tomada el día 02 de octubre del 2017 a las 7:15 a.m., cabe mencionar que el día estaba templado, cielo despejado en el lugar de la toma de muestra, a lo lejos se apreciaba una ligera precipitación.

La M_C fue tomada el día 02 de octubre del 2017 a las 7:45 a.m., cabe mencionar que el día estaba templado, cielo despejado en el lugar de la toma de muestra, a lo lejos se apreciaba una ligera precipitación.

Llegando al laboratorio de calidad del agua del Centro Interamericano de Recursos del Agua (CIRA) de la Facultad de Ingeniería (FI) de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex), se encendió el horno y la mufla.

Se lavaron 9 capsulas y 9 crisoles Gooch, dejándolos boca abajo en la tarja hasta que se secaron. Una vez estando secos los crisoles, se les colocó un filtro (GLASS MICROFIBER FILTERS, 934-AHTM, DIAMETER 24mm, 100 CIRCLES), se mojó el filtro con agua destilada para asegurar que se adhiriera perfectamente, sacándoles el agua con el matraz de vacío.

El día 02 de octubre del 2017, a las 10:30 a.m. se metieron las capsulas y los crisoles a la mufla a una temperatura de 510 °C. Su temperatura oscilaba entre los 510 y 550°C mientras estuvieron adentro las capsulas y los crisoles, se dejaron adentro de la mufla por aproximadamente 50 minutos.

A las 11:20 a.m. se sacaron las capsulas y los crisoles de la mufla para meterlos adentro del horno (estufa) a una temperatura de 140°C por aproximadamente 25 minutos.

A las 11:45 a.m. se sacaron las capsulas y los crisoles del horno para meterlos adentro de un desecador, se dejaron adentro del desecador hasta que se enfriaron.

A las 3:00 p.m. se pesaron las capsulas y crisoles en una balanza analítica, obteniendo los pesos que se muestran en la tabla 1 y tabla 2 (PESO 1).

A las 4:00 p.m. se volvieron a meter las capsulas y crisoles a la mufla a una temperatura de 550°C.

A las 4:45 p.m. se pasaron las capsulas y crisoles al horno (estufa) a una temperatura de 140°C

A las 5:15 se pasaron las capsulas y crisoles a un desecador para pesar al día siguiente, una vez que se hallan enfriado.

Al día siguiente (03 de octubre del 2017) a las 9:00 a.m. se pesaron las capsulas y crisoles con una balanza analítica, registrando los resultados en la tabla 1 y tabla 2 como PESO 2 (g).

Se promediaron las masas PESO 1 Y PESO 2, las cuales para los cálculos nombramos m_1 para las capsulas y m_2 para los crisoles.

Donde

m_1 es la masa de la cápsula vacía a masa constante, en g.

m_2 es la masa del soporte de secado con el filtro antes de la filtración, en g.

A las 10:00 se colocó un poco de muestra en la parrilla de agitación para homogeneizar los sólidos, se tomó 250 ml de muestra para verterlas en los crisoles (para determinar Solidos Suspendidos Totales), colocándolos al vacío. Esto se realizó tres veces para las tres muestras, teniendo un total de nueve crisoles (para la determinación de Solidos Suspendidos Totales).

Se metieron los crisoles al horno (estufa) hasta alcanzar una temperatura de 100°C a las 11:40 a.m. para dejarlas adentro por una hora.

A las 12:40 se sacaron las muestras de los crisoles (para Solidos Totales) y se pusieron en un desecador.

A las 4:00 p.m. se pesaron los crisoles en una balanza analítica, registrando los valores en la tabla 1 (m_6)

A las 12:45 con ayuda de una probeta, matraz y parrilla de agitación, se colocó la muestra dentro del matraz y este se colocó encima de la parrilla de agitación para homogeneizar los sólidos dentro de la muestra.

Se colocaron 25 ml de muestra dentro de una capsula para determinar los Solidos Totales (ST), esto se realizó por triplicado para cada muestra, teniendo un total de 9 capsulas, las cuales se metieron al horno (estufa) a una temperatura aproximadamente de 100°C, las capsulas se dejaron dentro del horno (estufa) hasta que se evaporo toda el agua.

A las 4:40 p.m. se sacaron las capsulas y se metieron adentro de un desecador para que al día siguiente se pesarán y obtener m_6 para determinar los Solidos Totales (ST) y

El día 04 de octubre del 2017, se pesaron las capsulas para realizar los cálculos y determinar la concentración de Sólidos Totales (ST), Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Sólidos Disueltos Totales (SDT). Con los Sólidos Disueltos Totales se determina la energía potencial química, la cual es factor determinante para conocer la emergía en cada una de las muestras.

Teniendo los pesos m_1 , m_2 , m_3 y m_6 de las 9 capsulas y 9 crisoles de las tres muestras (tres para cada muestra), se realizó el cálculo de SST y ST para cada una de las muestras, posteriormente promediaron los SST y ST de las tres capsulas y crisoles de cada muestra como se muestra en la tabla 1 y tabla 2 (descartando valores negativos) y determinar la concentración de SDT.

El análisis de Solidos Disueltos Totales (SDT) de las tres muestras de agua de los arroyos encontrados con presencia de caudal ecológico, se determinó como se menciona anteriormente, a partir del análisis fisicoquímico de las muestras tomadas, las cuales se consideran como el estado inicial o estado natural del río en estudio (río Lerma).

El procedimiento para determinar la concentración de Sólidos Disueltos Totales (SDT), se realizó bajo la NMX-AA-034 (SCFI, 2015). el procedimiento que se realizó para determinar la concentración de SDT en las muestras de agua tomadas se describe anteriormente. Mientras que, con fines didácticos, las tablas AIV.1, AIV.2 y AIV.3 muestran los pesos y resultados con cuatro dígitos después del punto decimal que muestra

la balanza analítica. Cabe mencionar que se omitieron los valores negativos y ceros para calcular el promedio de SST y ST.

Estos valores negativos o ceros pudieron haber sido perdida de material de las capsulas o crisoles debido a la fricción entre estos instrumentos de laboratorio, o bien debido a una mala calibración de la balanza analítica. Sin embargo, al realizar este estudio, se tuvo mucho cuidado y tener las precauciones necesarias que menciona la NOM-0034-SCFI-2015.

Tabla AIV. 1. Cálculo de Solidos Suspendedos Totales.

SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)								
MUESTRA	ID	PESO 1 (g)	PESO 2 (g)	m2 (g)	m6 (g)	m6-m2 (g)	SST (mg/L)	SST PROM (mg/L)
MA	8_	34.0208	34.0204	34.0204	34.0210	0.0006	2.4000	1.8667
	BO	30.1386	30.1387	30.1387	30.1388	0.0001	0.4000	
	IV	30.2889	30.2886	30.2886	30.2893	0.0007	2.8000	
MB	16	24.3488	24.3483	24.3483	24.3491	0.0008	3.2000	3.2000
	180	33.6395	33.6393	33.6393	33.6393	0.0000	0.0000	
	3	33.4414	33.4412	33.4412	33.4411	-0.0001	-0.4000	
MC	I	26.2100	26.2105	26.2105	26.2107	0.0002	0.8000	1.6000
	9	28.3028	28.3023	28.3023	28.3008	-0.0015	-6.0000	
	8	26.1966	26.1966	26.1966	26.1972	0.0006	2.4000	

Tabla AIV. 2. Cálculo de Solidos Totales.

SÓLIDOS TOTALES (ST)								
MUESTRA	ID	PESO 1 (g)	PESO 2 (g)	m1 (g)	m3 (g)	m3-m1 (g)	ST (mg/L)	ST PROM (mg/L)
MA	I	67.2290	67.2285	67.2285	67.2363	0.0078	312.0000	312.0000
	X_	75.8202	75.8200	75.8200	75.8282	0.0082	328.0000	
	VII	59.9484	59.9485	59.9485	59.9559	0.0074	296.0000	
MB	34	73.0564	73.0559	73.0559	73.0607	0.0048	192.0000	192.0000
	13	77.9732	77.9729	77.9729	77.9771	0.0042	168.0000	
	6	66.7490	66.7500	66.7500	66.7541	0.0041	164.0000	
MC	7'	78.1068	78.1072	78.1072	78.1125	0.0053	212.0000	236.0000
	XVII	69.4650	69.4650	69.4650	69.4711	0.0061	244.0000	
	165	65.3342	65.3345	65.3345	65.3410	0.0065	260.0000	

Tabla AIV. 3. Cálculo de Solidos Disueltos Totales.

SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (SDT)			
MUESTRA	ST (mg/L)	SST (mg/L)	SDT (mg/L)
MA	312.0000	1.8667	310.1333
MB	192.0000	3.2000	188.8000

MC	236.0000	1.6000	234.4000
----	----------	--------	----------

Debido a que el lugar de muestro MB tiene un mayor número de especies acuáticas, las cuales son más propensas a los contaminantes y el caudal en el que se albergan tiene una menor concentración de SDT, esta concentración de SDT fue considerada como estado natural de la fase inicial del río principal de la cuenca del CARL (río Lerma).

ii. ANEXO IV.2. ENERGÍA POTENCIAL QUÍMICA EN ARROYOS CON CAUDAL ECOLÓGICO

Conociendo la concentración de Sólidos Disueltos Totales (SDT) y el hábitat que albergan cada uno de los flujos de las muestras de agua tomadas, se decidió considerar la calidad del agua tomada de la muestra MB, como el estado inicial (natural) del río principal (río Lerma) de la cuenca del CARL, proponiendo la calidad de esta agua para el caudal base de la fase “0” en el cauce del río principal (río Lerma) de la cuenca del CARL, ya que ésta tiene una menor concentración de SDT. Además, este caudal alberga una mayor diversidad de especies, las cuales son más sensibles a agentes contaminantes, tales como la especie trichotera, el cual es un indicador del ecosistema. Por lo que éste caudal puede tener las características idóneas para considerarlo como el caudal base de la fase inicial (fase 0), además de no existir comunidades (humanas) aguas arriba que pudiera afectar la calidad del agua.

Mientras que para las muestras MA y MC, se considerará el promedio de estas dos como la concentración de SDT para el caudal base de la fase “1”, corroborando más adelante con la ecuación 4.3 para la concentración de SDT con los resultados de dicha ecuación propuesta.

Cálculos:

Teniendo la concentración de SDT propuesta para la fase inicial (fase 0), se realizaron los cálculos para estimar la energía potencial química por medio de la energía libre de Gibbs. Para calcular la energía libre de Gibbs, nos apoyamos de la ecuación 3.3, como se muestra a continuación.

$$G_{fe} = \frac{RT}{w} \ln \left[\frac{1 \times 10^6 - C_2}{1 \times 10^6 - C_1} \right]$$

$$G_{fe}^A = \frac{(8.33 \frac{J}{mol \cdot ^\circ K})(300^\circ K)}{(18 \frac{g}{mol})} \ln \left[\frac{1 \times 10^6 - 310.1333 \frac{mg}{L}}{1 \times 10^6 - 35,000 \frac{mg}{L}} \right]$$

$$G_{fe}^A = 4.9031 \text{ J/g}$$

$$G_{fe}^B = \frac{(8.33 \frac{J}{mol \cdot ^\circ K})(300^\circ K)}{(18 \frac{g}{mol})} \ln \left[\frac{1 \times 10^6 - 188.8000 \frac{mg}{L}}{1 \times 10^6 - 35,000 \frac{mg}{L}} \right]$$

$$G_{fe}^B = 4.9200 \text{ J/g}$$

$$G_{fe}^C = \frac{(8.33 \frac{J}{mol \cdot ^\circ K})(300^\circ K)}{(18 \frac{g}{mol})} \ln \left[\frac{1 \times 10^6 - 234.4000 \frac{mg}{L}}{1 \times 10^6 - 35,000 \frac{mg}{L}} \right]$$

$$G_{fe}^C = 4.9137 \text{ J/g}$$

$$G_{fe}^{ACprom} = \frac{(8.33 \frac{J}{mol \cdot ^\circ K})(300^\circ K)}{(18 \frac{g}{mol})} \ln \left[\frac{1 \times 10^6 - 272.2667 \frac{mg}{L}}{1 \times 10^6 - 35,000 \frac{mg}{L}} \right]$$

$$G_{fe}^{ACprom} = 4.9084 \text{ J/g}$$

La energía potencial química de la fase inicial (fase 0) E_{pq0} representa el parámetro de comparación para los impactos generados en las demás fases. Debido a la ausencia de datos de calidad en el periodo asociado a la fase 0, se partirá del supuesto que la calidad del agua en cuerpos superficiales que actualmente permanecen sin afectaciones por actividad humana, debe mostrar una calidad similar a la posiblemente mostrada por el flujo asociado a la fase 0, como es el caso del arroyo de la muestra MB, donde se albergan el mayor número de especies acuáticas, algunas de ellas reconocidas como bioindicadores, tales como el Trichoptera.

Por lo que, la concentración de SDT presente en la muestra MB será considerada el estado inicial del río Lerma en la fase inicial (fase 0).

d. ANEXO V. PARAMETROS DETERMINANTES DE PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES

Tabla V. 1. Caudal mínimo mensual por fase.

		Q_{min1}	Q_{min2}	Q_{min3}	Q_{min4}	Q_{min5}	Q_{min6}	Q_{min7}	Q_{min8}	Q_{min9}	Q_{min10}	Q_{min11}	Q_{min12}	Q_{minAvg}
		(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)
FASE 0	1942	na	na	na	1.969	1.962	1.917	3.456	6.413	9.942	9.701	5.745	4.102	
	1943	2.715	2.078	1.639	1.258	1.344	2.691	5.558	5.687	10.733	9.965	5.712	4.047	4.452
	1944	3.010	1.758	0.888	0.759	0.920	1.350	2.718	4.697	9.206	7.065	4.968	4.137	3.456
	1945	2.645	1.305	0.650	0.655	1.030	1.127	1.283	5.604	9.358	6.669	4.046	2.975	3.112
	1946	2.379	1.095	0.585	0.570	1.472	1.026	4.044	4.781	6.330	6.866	4.930	3.238	3.110
	1947	2.144	1.429	0.879	0.606	1.072	1.368	2.203	4.519	10.312	8.553	4.709	4.121	3.493
	1948	3.703	2.051	0.963	0.739	1.066	1.009	3.239	8.423	9.326	6.122	2.977	3.605	3.602
	1949	3.075	2.301	2.028	1.617	0.669	1.204	3.096	5.544	6.128	5.967	2.918	2.530	3.090
	1950	2.409	2.105	1.203	0.724	0.649	1.450	2.834	3.902	3.203	3.305	2.730	2.203	2.226
Prom fase 0		2.760	1.765	1.105	0.989	1.132	1.460	3.159	5.508	8.282	7.135	4.304	3.440	3.420
FASE 1	1951	2.287	1.304	0.501	0.371	0.413	1.384	3.075	8.014	8.850	4.447	2.305	0.897	2.821
	1952	0.321	0.216	0.123	0.208	0.371	2.379	4.679	6.294	10.468	6.387	3.924	1.733	3.092
	1953	0.754	0.231	0.255	0.214	0.278	0.371	1.966	2.521	3.096	2.712	1.948	1.263	1.301
	1954	0.402	0.160	0.136	0.071	0.423	0.768	1.843	3.286	4.460	6.905	4.769	1.927	2.096
	1955	0.388	0.171	0.176	0.133	0.128	0.716	1.759	4.120	8.237	7.366	3.571	1.478	2.354
	1956	0.354	0.171	0.157	0.246	0.803	1.343	5.161	7.712	7.980	2.118	1.195	0.785	2.335
	1957	0.160	0.103	0.088	0.128	0.300	0.884	1.759	2.277	2.319	1.183	0.943	0.400	0.879
	1958	0.795	0.434	0.382	0.235	0.346	0.992	7.056	9.692	15.911	15.293	11.709	5.491	5.695
	1959	2.480	0.582	0.367	0.397	1.030	0.974	4.984	12.451	8.051	10.451	5.044	1.902	4.059
	1960	0.907	0.587	0.413	0.435	0.812	1.109	3.063	2.343	7.139	2.861	1.106	1.130	1.825
	1961	0.582	0.370	0.279	0.259	0.432	0.986	7.789	7.907	3.435	2.175	1.707	0.853	2.231
	1962	0.332	0.152	0.126	0.144	0.487	0.585	1.831	1.667	8.069	5.735	1.007	1.237	1.781
	1963	0.400	0.250	0.301	0.476	0.620	0.515	3.664	9.567	9.274	5.559	2.151	0.803	2.798
Prom fase 1		0.782	0.364	0.254	0.255	0.496	1.000	3.741	5.989	7.484	5.630	3.183	1.531	2.559

Tabla V. 2.Caudal mínimo mensual por fase.

		Q_{min1}	Q_{min2}	Q_{min3}	Q_{min4}	Q_{min5}	Q_{min6}	Q_{min7}	Q_{min8}	Q_{min9}	Q_{min10}	Q_{min11}	Q_{min12}	Q_{minAvg}
		(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)
FASE 2	1964	1.161	0.263	0.221	0.245	0.339	1.469	3.902	4.245	3.950	2.930	1.588	0.923	1.770
	1965	0.449	0.248	0.232	0.387	0.745	0.789	0.524	4.455	7.859	6.235	1.677	1.100	2.058
	1966	0.684	0.236	0.208	0.910	0.684	0.847	1.859	9.233	6.937	2.118	1.526	0.800	2.170
	1967	0.699	1.093	0.931	0.806	1.075	1.106	6.770	8.096	13.175	12.006	0.411	1.582	3.979
	1968	0.875	0.869	0.388	0.464	0.937	0.841	6.669	10.759	10.997	3.222	1.399	1.453	3.239
	1969	1.127	0.353	0.266	0.291	0.336	0.507	1.948	3.262	15.562	8.420	2.473	1.807	3.029
	1970	0.292	0.346	0.158	0.195	0.240	0.768	2.337	6.218	9.550	4.561	2.005	1.051	2.310
	1971	0.285	0.425	0.139	0.489	0.423	1.103	3.683	5.598	6.556	9.906	6.226	2.873	3.142
	1972	1.418	0.633	0.307	0.358	0.512	1.320	2.043	3.870	4.610	3.688	2.433	1.633	1.902
	1973	0.649	0.131	0.021	0.063	0.381	0.423	4.692	10.375	11.826	8.653	3.986	1.465	3.555
	1974	0.942	0.482	0.471	0.620	0.707	1.314	5.854	6.181	5.729	2.774	1.572	0.984	2.302
	1975	0.681	0.279	0.262	0.255	0.859	1.511	2.498	6.382	9.569	5.430	3.364	1.567	2.721
	1976	0.733	0.481	0.265	1.100	1.231	0.949	2.917	1.752	5.769	13.016	2.738	2.233	2.765
	1977	1.445	0.226	0.256	0.556	1.143	1.237	3.177	2.885	5.937	2.630	1.976	1.167	1.886
	1978	0.458	0.248	0.230	0.939	0.812	1.067	3.096	7.020	7.633	9.531	3.506	2.040	3.048
	1979	0.846	0.504	0.472	0.665	0.614	1.562	1.800	5.370	6.657	2.521	1.751	1.455	2.018
	1980	1.164	0.864	0.864	0.986	0.841	0.678	1.820	3.313	5.554	4.259	2.499	1.432	2.023
	1981	1.356	0.917	0.792	0.809	1.024	1.624	4.055	7.048	8.934	6.838	3.669	2.831	3.325
	1982	1.493	1.112	0.733	0.829	1.009	1.335	2.075	2.453	1.804	1.521	1.192	1.356	1.409
	1983	0.768	0.359	0.378	0.339	na	na	2.516	3.215	3.462	2.634	1.959	1.042	
	1984	0.963	0.419	0.413	0.367	0.451	1.212	2.456	3.266	6.204	4.612	2.371	2.623	2.113
	1985	2.164	0.729	0.681	0.660	1.060	1.301	3.291	4.497	6.275	4.307	1.935	0.890	2.316
	1986	0.696	0.597	0.413	0.255	1.581	4.176	9.040	6.231	5.528	3.383	2.120	1.270	2.941
	1987	0.741	0.585	0.643	0.777	1.424	2.233	2.298	7.736	6.598	1.566	1.572	na	

Tabla V. 3.Caudal mínimo mensual por fase.

		Q_{min1}	Q_{min2}	Q_{min3}	Q_{min4}	Q_{min5}	Q_{min6}	Q_{min7}	Q_{min8}	Q_{min9}	Q_{min10}	Q_{min11}	Q_{min12}	Q_{minAvg}
		(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)
FASE 2	1988	0.867	0.750	0.817	0.972	1.258	1.280	4.439	7.544	na	na	na	na	
	1989	na	na	na	0.419	1.362	1.706	3.697	4.222	4.223	4.008	2.170	na	
	1990	1.865	1.401	0.958	0.966	1.045	1.139	1.798	2.465	5.514	5.445	4.504	2.780	2.490
	1991	1.738	1.548	1.255	1.222	1.320	1.567	6.115	5.756	5.421	5.895	4.222	4.524	3.382
	1992	3.212	3.939	2.780	2.667	3.355	3.128	3.292	5.461	5.372	4.955	3.359	3.749	3.772
	1993	2.184	1.868	1.271	1.106	1.136	0.920	4.596	na	na	na	na	na	
	1994	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	
	1995	3.231	3.081	2.521	2.594	3.002	2.257	6.061	7.699	7.266	5.907	5.745	5.694	4.588
	1996	5.224	4.757	4.462	4.989	5.046	5.157	5.964	5.167	6.121	4.918	4.139	4.474	5.035
	1997	3.877	4.033	3.546	4.016	3.955	4.616	4.725	5.406	5.409	5.051	4.727	4.389	4.479
	1998	4.313	3.474	3.785	3.715	3.975	4.350	3.934	4.694	6.111	8.448	6.253	6.329	4.949
	1999	5.043	4.187	4.023	3.963	3.986	4.275	3.931	3.541	5.100	6.015	6.119	5.819	4.667
	2000	4.303	3.921	3.294	3.325	2.859	3.863	4.898	4.905	5.630	4.943	3.530	3.238	4.059
	2001	2.754	2.269	1.928	2.094	4.257	5.284	6.776	6.090	8.233	6.528	5.446	5.082	4.728
	2002	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	
	2003	5.247	3.804	3.102	4.699	4.758	5.310	10.529	10.481	10.620	12.008	7.274	6.311	7.012
	2004	4.953	4.432	4.235	3.798	3.280	4.012	7.247	7.497	4.533	7.282	3.849	6.382	5.125
	2005	5.126	5.038	5.027	5.074	5.181	5.626	6.617	9.014	14.120	12.824	9.259	9.220	7.677
	2006	7.554	7.786	7.368	8.128	8.648	11.481	0.000	13.728	19.614	na	na	na	
	2010	1.711	4.927	6.650	1.938	4.938	2.513	9.308	19.720	13.783	7.121	2.240	2.088	6.411
	2011	5.296	1.356	4.032	1.498	4.716	3.900	12.718	10.634	3.059	7.835	2.232	1.470	4.896
	2012	4.382	3.717	4.734	na	na	na	12.180	9.884	10.280	5.695	1.815	1.685	
	2013	5.037	1.400	3.965	na	na	na	5.418	6.928	11.644	9.201	2.463	2.021	
Prom fase 2		2.273	1.820	1.807	1.641	2.060	2.423	4.568	6.461	7.645	5.972	3.221	2.771	3.494

Tabla V. 4. Esguerrimiento medio mensual por fase.

		R m 1	R m 2	R m 3	R m 4	R m 5	R m 6	R m 7	R m 8	R m 9	R m 10	R m 11	R m 12	R m Avg
		(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
FASE 0	1942	na	na	na	2.157	2.388	3.184	7.314	8.455	13.141	12.030	7.366	5.205	
	1943	3.557	2.367	1.838	1.523	1.773	6.505	7.247	8.535	14.308	12.960	7.801	5.161	6.131
	1944	3.567	2.600	1.284	0.888	1.407	2.364	4.420	7.338	12.927	11.094	6.517	4.593	4.917
	1945	3.319	2.095	0.933	0.770	1.235	1.485	3.661	8.217	9.851	8.758	5.052	3.623	4.083
	1946	2.762	1.645	0.926	1.161	1.828	2.253	4.557	6.506	7.749	7.574	5.820	3.914	3.891
	1947	2.823	1.826	1.153	0.783	1.503	2.004	3.367	7.966	14.572	10.670	6.413	4.526	4.801
	1948	3.953	3.032	1.607	1.128	1.525	1.962	6.615	10.751	11.342	7.561	4.999	4.236	4.892
	1949	3.359	2.660	2.204	1.913	1.000	2.130	4.479	6.614	6.670	6.299	4.073	2.910	3.693
	1950	2.901	2.535	1.735	0.990	1.202	2.195	4.224	4.401	4.180	3.912	3.070	2.434	2.815
Prom fase 0		3.280	2.345	1.460	1.257	1.540	2.676	5.098	7.643	10.527	8.984	5.679	4.067	4.403
FASE 1	1951	2.691	1.970	0.950	0.410	1.629	2.453	5.953	9.747	10.395	6.735	3.582	1.686	4.017
	1952	0.671	0.412	0.185	0.455	0.849	4.221	6.937	8.365	13.483	10.280	5.784	2.756	4.533
	1953	1.299	0.455	0.358	0.377	0.402	1.487	2.969	3.729	4.168	3.086	2.489	1.636	1.871
	1954	0.751	0.264	0.190	0.318	0.727	1.630	3.160	4.605	6.283	9.958	5.627	3.144	3.055
	1955	1.079	0.384	0.218	0.187	0.479	1.258	4.672	6.627	13.924	10.715	5.082	2.626	3.937
	1956	0.901	0.463	0.216	0.527	1.407	2.881	9.172	8.741	9.996	4.669	1.702	1.288	3.497
	1957	0.431	0.164	0.116	0.341	0.573	1.506	2.436	3.031	3.416	2.149	1.151	0.752	1.339
	1958	2.102	0.985	0.479	0.313	1.231	2.659	10.662	12.689	20.475	18.184	14.068	8.045	7.658
	1959	4.143	1.378	0.603	1.250	1.533	4.057	9.862	14.099	11.817	16.643	9.994	3.114	6.541
	1960	1.496	0.818	0.667	0.789	1.384	1.818	6.751	6.412	10.590	4.783	2.811	1.404	3.310
	1961	0.900	0.610	0.507	0.401	0.739	6.726	11.736	11.171	6.764	3.584	2.072	1.223	3.869
	1962	0.643	0.202	0.160	1.480	1.050	1.765	4.103	3.823	11.482	9.781	2.467	1.445	3.200
	1963	0.738	0.385	0.515	0.638	1.402	2.310	9.206	12.519	11.168	11.074	4.769	1.516	4.687
Prom fase 1		1.373	0.653	0.397	0.576	1.031	2.675	6.740	8.120	10.305	8.588	4.738	2.357	3.963

Tabla V. 5. Esguerrimiento medio mensual por fase.

		R m 1	R m 2	R m 3	R m 4	R m 5	R m 6	R m 7	R m 8	R m 9	R m 10	R m 11	R m 12	R m Avg
		(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
FASE 2	1964	1.838	0.830	0.372	0.424	1.027	4.004	5.284	5.092	5.287	5.456	2.561	1.411	2.799
	1965	0.705	0.368	0.305	0.595	1.150	1.786	2.741	8.985	11.372	9.404	3.882	1.838	3.594
	1966	0.904	0.467	1.226	1.192	0.996	2.335	5.845	12.347	12.522	3.947	1.836	1.403	3.752
	1967	3.815	1.991	1.150	1.190	1.797	4.145	10.568	13.449	17.165	16.469	5.644	2.283	6.639
	1968	1.167	0.927	0.598	1.013	1.780	3.999	10.893	12.480	13.296	7.635	2.694	1.865	4.862
	1969	1.845	0.679	0.359	0.431	0.540	1.701	4.161	11.062	19.270	11.891	5.404	2.483	4.986
	1970	1.031	0.574	0.348	0.286	0.647	2.752	3.828	9.894	12.145	9.070	3.623	1.682	3.823
	1971	0.768	0.617	0.358	0.787	0.828	3.527	5.940	8.410	9.443	12.292	8.015	4.660	4.637
	1972	2.281	1.022	0.455	0.723	0.954	3.160	3.433	4.997	6.646	4.686	2.737	2.117	2.768
	1973	1.040	0.433	0.175	0.349	0.951	2.908	9.109	16.828	13.959	11.215	6.736	3.097	5.567
	1974	1.510	0.658	0.678	0.810	1.175	4.437	8.031	7.436	8.754	5.599	2.156	1.464	3.559
	1975	1.549	1.260	0.523	0.717	1.461	4.415	5.364	9.173	11.711	7.608	3.967	2.770	4.210
	1976	1.130	0.621	0.494	1.514	1.663	1.816	5.052	6.878	10.281	16.824	7.672	3.515	4.788
	1977	1.863	0.699	0.487	1.139	1.876	4.011	6.158	5.800	7.566	4.421	2.521	1.756	3.191
	1978	0.876	0.382	0.680	1.189	1.039	3.245	5.932	9.236	10.086	13.846	6.720	3.168	4.700
	1979	1.391	0.650	0.607	0.906	1.436	2.405	3.296	7.047	9.631	4.140	2.332	2.129	2.998
	1980	2.152	1.577	1.084	1.240	1.843	2.634	2.891	6.826	7.685	5.268	3.618	2.150	3.247
	1981	1.729	1.157	0.888	1.064	1.470	4.810	8.241	8.931	11.186	8.749	5.381	3.565	4.764
	1982	2.249	1.448	1.006	1.365	2.044	2.312	3.373	3.477	2.495	2.300	1.571	1.455	2.091
	1983	1.094	0.537	0.544	0.423	na	na	4.277	5.219	6.323	3.463	2.475	1.690	
	1984	1.140	0.638	0.477	0.453	1.267	3.054	5.514	5.835	11.527	6.154	3.283	4.031	3.614
	1985	2.753	1.359	0.782	1.336	1.604	4.494	6.059	6.628	8.892	6.450	3.256	1.987	3.800
	1986	1.317	1.057	0.802	2.194	3.534	11.616	13.395	9.201	8.635	6.530	2.851	2.022	5.263
	1987	1.050	0.869	0.836	1.249	1.809	4.596	6.011	11.170	9.743	5.141	2.043	na	

Tabla V. 6. Esguerrimiento medio mensual por fase.

		R m 1	R m 2	R m 3	R m 4	R m 5	R m 6	R m 7	R m 8	R m 9	R m 10	R m 11	R m 12	R m A v g
		(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
FASE 2	1988	1.101	0.836	1.591	1.486	1.665	3.200	10.714	12.163	na	na	na	na	
	1989	na	na	na	1.426	2.046	2.699	5.394	7.939	6.264	5.110	3.393	na	
	1990	2.481	1.913	1.312	1.160	1.398	1.450	2.385	3.762	7.012	7.436	5.224	3.688	3.268
	1991	2.211	1.868	1.670	1.573	1.984	3.912	8.439	6.865	6.906	6.829	5.100	5.024	4.365
	1992	3.904	4.787	3.593	3.061	4.059	4.303	4.978	6.398	6.662	6.546	5.057	4.249	4.800
	1993	2.537	2.205	1.531	1.467	1.479	2.649	6.542	na	na	na	na	na	
	1994	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	
	1995	4.577	3.396	2.929	2.868	3.170	4.196	7.426	8.918	8.232	7.078	6.472	5.959	5.435
	1996	5.830	5.135	5.228	5.266	5.509	6.428	7.310	5.928	6.727	5.961	4.530	4.654	5.709
	1997	4.190	4.150	4.194	4.504	5.302	5.533	6.223	6.399	6.816	5.752	5.175	4.715	5.246
	1998	4.883	4.126	4.098	4.137	4.282	5.327	5.887	6.884	9.827	10.358	7.198	6.355	6.114
	1999	5.521	4.538	4.272	4.212	4.270	5.202	5.773	4.781	9.935	7.251	6.538	6.055	5.696
	2000	4.580	4.232	3.965	3.942	3.771	5.237	5.540	5.831	6.464	5.515	4.220	3.550	4.737
	2001	3.342	2.649	2.386	2.860	5.038	6.047	7.469	6.977	9.418	7.965	6.228	5.201	5.465
	2002	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	
	2003	5.969	4.726	3.423	5.326	5.276	10.423	11.266	10.935	15.295	13.548	9.106	7.006	8.525
	2004	5.750	4.843	4.611	4.554	na	5.727	7.780	8.034	7.794	7.871	6.854	6.462	6.389
	2005	5.546	5.388	5.269	5.534	5.782	6.326	7.072	15.170	16.032	14.636	10.292	9.391	8.870
	2006	8.826	8.445	8.686	8.706	na	13.146	na	17.506	22.038	na	na	na	
	2010	6.061	13.314	7.829	6.466	6.192	9.538	21.362	24.607	26.194	13.158	7.641	6.206	12.381
	2011	5.571	4.986	4.590	5.088	5.936	7.382	20.164	19.105	17.568	11.792	7.199	4.032	9.451
	2012	5.122	6.337	5.524	na	5.027	na	16.688	17.438	13.629	8.597	6.514	4.404	
	2013	5.669	4.912	4.400	na	5.291	na	10.469	11.113	18.757	11.945	9.245	5.869	
Prom fase 2		2.974	2.582	2.189	2.238	2.628	4.593	7.370	9.390	10.865	8.236	4.975	3.684	5.030

Tabla V. 7. Sólidos disueltos totales mensuales del caudal mínimo por fase.

		SDTQ _{min} 1	SDTQ _{min} 2	SDTQ _{min} 3	SDTQ _{min} 4	SDTQ _{min} 5	SDTQ _{min} 6	SDTQ _{min} 7	SDTQ _{min} 8	SDTQ _{min} 9	SDTQ _{min} 10	SDTQ _{min} 11	SDTQ _{min} 12	SDTQ _{min} Avg
		(mg / L)	(mg / L)	(mg / L)	(mg / L)	(mg / L)	(mg / L)	(mg / L)	(mg / L)	(mg / L)	(mg / L)	(mg / L)	(mg / L)	(mg / L)
FASE 0	1942	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189
	1943	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189
	1944	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189
	1945	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189
	1946	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189
	1947	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189
	1948	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189
	1949	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189
	1950	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189
Prom fase 0		189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189
FASE 1	1951	430	612	1,290	1,676	1,525	588	368	258	251	313	428	804	712
	1952	1,949	2,106	2,106	2,106	1,710	426	309	278	243	277	333	515	1,030
	1953	954	2,106	2,106	2,106	2,106	1,744	482	418	375	402	485	646	1,161
	1954	1,654	2,106	2,106	2,106	1,583	956	509	368	321	274	312	495	1,066
	1955	1,739	2,106	2,106	2,106	2,106	1,030	531	335	262	271	357	596	1,129
	1956	1,926	2,106	2,106	2,106	954	646	308	268	266	479	703	971	1,070
	1957	2,106	2,106	2,106	2,106	2,106	898	545	464	459	719	854	1,756	1,352
	1958	993	1,662	1,862	2,106	2,038	834	279	255	229	231	243	305	920
	1959	452	1,309	1,968	1,832	822	858	320	241	270	251	318	532	764
	1960	922	1,321	1,799	1,717	1,008	788	406	473	282	421	790	777	892
	1961	1,397	2,088	2,106	2,106	1,817	902	279	278	394	512	601	1,013	1,124
	1962	2,106	2,106	2,106	2,106	1,712	1,457	594	634	281	318	926	788	1,261
	1963	2,106	2,106	2,106	1,827	1,447	1,703	402	270	273	329	551	1,160	1,190
Prom fase 1		1,441	1,834	1,990	2,001	1,610	987	410	349	300	369	531	797	1,052

Tabla V. 8. Sólidos disueltos totales mensuales del caudal mínimo por fase.

		SDTQ _{min} 1	SDTQ _{min} 2	SDTQ _{min} 3	SDTQ _{min} 4	SDTQ _{min} 5	SDTQ _{min} 6	SDTQ _{min} 7	SDTQ _{min} 8	SDTQ _{min} 9	SDTQ _{min} 10	SDTQ _{min} 11	SDTQ _{min} 12	SDTQ _{min} Avg
		(m g / L)	(m g / L)	(m g / L)	(m g / L)	(m g / L)	(m g / L)	(m g / L)	(m g / L)	(m g / L)	(m g / L)	(m g / L)	(m g / L)	(m g / L)
FASE 2	1964	894	2,106	2,106	2,106	2,106	746	399	382	396	468	704	1,076	1,124
	1965	2,095	2,106	2,106	2,106	1,339	1,275	1,824	381	298	326	700	968	1,294
	1966	1,498	2,106	2,106	1,173	1,498	1,246	670	286	318	611	775	1,308	1,133
	1967	1,524	1,043	1,192	1,347	1,057	1,033	327	304	260	267	2,106	779	936
	1968	1,300	1,307	2,106	2,106	1,226	1,345	335	279	277	490	884	858	1,043
	1969	1,085	2,106	2,106	2,106	2,106	2,106	707	499	254	309	597	748	1,227
	1970	2,106	2,106	2,106	2,106	2,106	1,554	638	357	299	419	712	1,187	1,308
	1971	2,106	2,106	2,106	2,106	2,106	1,297	521	407	375	312	385	614	1,203
	1972	1,173	2,106	2,106	2,106	2,106	1,246	872	549	491	567	762	1,043	1,261
	1973	2,106	2,106	2,106	2,106	2,106	2,106	523	340	321	370	582	1,259	1,336
	1974	2,038	2,106	2,106	2,106	2,106	1,514	486	471	493	817	1,297	1,959	1,458
	1975	2,106	2,106	2,106	2,106	2,106	1,456	955	489	389	541	758	1,411	1,377
	1976	2,106	2,106	2,106	2,087	1,885	2,106	905	1,380	551	349	951	1,124	1,471
	1977	1,754	2,106	2,106	2,106	2,106	2,017	900	973	570	1,048	1,333	2,106	1,594
	1978	2,106	2,106	2,106	2,106	2,106	2,106	975	536	508	444	883	1,382	1,447
	1979	2,106	2,106	2,106	2,106	2,106	1,858	1,637	674	580	1,223	1,678	1,980	1,680
	1980	2,106	2,106	2,106	2,106	2,106	2,106	1,717	1,028	689	842	1,302	2,106	1,693
	1981	2,106	2,106	2,106	2,106	2,106	1,963	899	598	511	610	974	1,206	1,441
	1982	2,106	2,106	2,106	2,106	2,106	2,106	1,625	1,404	1,841	2,106	2,106	2,106	1,985
	1983	2,106	2,106	2,106	2,106	na	na	1,413	1,147	1,079	1,358	1,762	2,106	1,729
	1984	2,106	2,106	2,106	2,106	2,106	2,106	1,484	1,163	701	878	1,530	1,401	1,650
	1985	1,705	2,106	2,106	2,106	2,106	2,106	1,186	918	712	950	1,884	2,106	1,666
	1986	2,106	2,106	2,106	2,106	2,106	998	563	731	800	1,188	1,784	2,106	1,558
	1987	2,106	2,106	2,106	2,106	2,106	1,748	1,704	639	716	2,106	2,106	na	1,777
	1988	2,106	2,106	2,106	2,106	2,106	2,106	996	663	na	na	na	na	1,787

Tabla V. 9. Sólidos disueltos totales mensuales del caudal mínimo por fase.

		SDTQ _{min} 1	SDTQ _{min} 2	SDTQ _{min} 3	SDTQ _{min} 4	SDTQ _{min} 5	SDTQ _{min} 6	SDTQ _{min} 7	SDTQ _{min} 8	SDTQ _{min} 9	SDTQ _{min} 10	SDTQ _{min} 11	SDTQ _{min} 12	SDTQ _{min} Avg
		(m g / L)	(m g / L)	(m g / L)	(m g / L)	(m g / L)	(m g / L)	(m g / L)	(m g / L)	(m g / L)	(m g / L)	(m g / L)	(m g / L)	(m g / L)
FASE 2	1989	na	na	na	2,106	2,106	2,106	1,184	1,061	1,060	1,107	1,885	na	1,577
	1990	2,106	2,106	2,106	2,106	2,106	2,106	2,106	1,723	875	883	1,028	1,549	1,733
	1991	2,106	2,106	2,106	2,106	2,106	2,106	833	873	915	857	1,121	1,059	1,524
	1992	1,463	1,228	1,661	1,723	1,408	1,497	1,432	938	951	1,015	1,407	1,280	1,333
	1993	2,106	2,106	2,106	2,106	2,106	2,106	1,113	na	na	na	na	na	1,964
	1994	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	
	1995	1,600	1,668	1,997	1,946	1,707	2,106	941	781	816	960	982	989	1,374
	1996	1,119	1,210	1,277	1,162	1,151	1,131	1,003	1,129	982	1,176	1,362	1,274	1,165
	1997	1,519	1,467	1,643	1,473	1,492	1,306	1,280	1,143	1,142	1,210	1,280	1,364	1,360
	1998	1,454	1,759	1,630	1,657	1,561	1,443	1,575	1,351	1,081	835	1,061	1,051	1,372
	1999	1,330	1,563	1,619	1,641	1,633	1,535	1,653	1,814	1,317	1,145	1,129	1,178	1,463
	2000	1,596	1,732	2,027	2,009	2,106	1,756	1,425	1,423	1,264	1,413	1,904	2,058	1,726
	2001	2,106	2,106	2,106	2,106	1,640	1,358	1,101	1,203	939	1,135	1,324	1,405	1,544
	2002	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	
	2003	1,415	1,880	2,106	1,558	1,541	1,400	800	802	794	724	1,073	1,208	1,275
	2004	1,513	1,668	1,737	1,916	2,106	1,823	1,094	1,064	1,635	1,089	1,893	1,216	1,563
	2005	1,493	1,516	1,518	1,506	1,479	1,377	1,199	930	662	710	911	914	1,185
	2006	1,096	1,069	1,119	1,032	981	785	2,106	688	538	na	na	na	1,046
	2010	2,106	1,714	1,319	2,106	1,711	2,106	996	570	734	1,244	2,106	2,106	1,568
	2011	1,631	2,106	2,084	2,106	1,809	2,106	790	907	2,106	1,164	2,106	2,106	1,752
	2012	1,961	2,106	1,829	na	na	na	826	974	944	1,552	2,106	2,106	1,601
	2013	1,755	2,106	2,106	na	na	na	1,645	1,328	866	1,046	2,106	2,106	1,674
Prom fas 2		1,776	1,909	1,951	1,937	1,852	1,676	1,097	848	769	902	1,318	1,448	1,466

Tabla V. 10. Sólidos disueltos totales mensuales en escurrimiento medio por fase.

		SDTRm1	SDTRm2	SDTRm3	SDTRm4	SDTRm5	SDTRm6	SDTRm7	SDTRm8	SDTRm9	SDTRm10	SDTRm11	SDTRm12	SDTRmAvg
		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
FASE 0	1942	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189
	1943	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189
	1944	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189
	1945	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189
	1946	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189
	1947	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189
	1948	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189
	1949	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189
	1950	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189
Prom fase 0		189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189
FASE 1	1951	394	469	770	1,534	528	414	282	245	242	271	343	516	501
	1952	1,030	1,558	2,106	1,428	854	323	270	256	231	244	286	394	748
	1953	633	1,456	1,802	1,717	1,625	577	383	344	327	376	421	541	850
	1954	974	2,106	2,106	2,044	999	550	375	317	283	248	294	376	889
	1955	747	1,758	2,106	2,106	1,446	668	318	280	232	245	307	418	886
	1956	871	1,515	2,106	1,355	626	402	256	259	250	320	550	666	765
	1957	1,645	2,106	2,106	2,027	1,283	605	446	396	372	481	734	1,023	1,102
	1958	493	838	1,525	2,106	709	429	249	239	220	224	234	268	628
	1959	346	662	1,270	710	614	350	255	235	244	228	254	398	464
	1960	633	1,001	1,186	1,031	669	554	287	292	252	328	425	662	610
	1961	970	1,342	1,576	1,940	1,141	293	249	252	293	385	528	764	811
	1962	1,341	2,106	2,106	690	895	609	370	383	253	265	489	702	851
	1963	1,246	2,106	1,704	1,412	745	526	274	251	259	259	352	703	820
Prom fase 1		871	1,463	1,728	1,546	933	485	309	288	266	298	401	572	763

Tabla V. 11. Sólidos disueltos totales mensuales en escurrimiento medio por fase.

		SDTRm1	SDTRm2	SDTRm3	SDTRm4	SDTRm5	SDTRm6	SDTRm7	SDTRm8	SDTRm9	SDTRm10	SDTRm11	SDTRm12	SDTRmAvg
		(mg / L)	(mg / L)	(mg / L)	(mg / L)	(mg / L)	(mg / L)	(mg / L)	(mg / L)	(mg / L)	(mg / L)	(mg / L)	(mg / L)	(mg / L)
FASE 2	1964	634	1,175	2,106	2,106	986	393	344	350	344	339	508	769	838
	1965	1,404	2,106	2,106	1,629	934	668	501	284	264	280	410	655	937
	1966	1,180	2,106	919	940	1,088	572	342	261	260	416	676	827	799
	1967	434	658	1,001	973	708	414	277	258	243	245	354	598	514
	1968	1,022	1,237	1,815	1,148	735	432	278	267	262	316	550	710	731
	1969	736	1,676	2,106	2,106	2,059	783	432	280	241	274	376	596	972
	1970	1,206	2,015	2,106	2,106	1,811	570	463	295	275	304	478	812	1,037
	1971	1,780	2,106	2,106	1,742	1,664	535	395	334	318	288	341	451	1,005
	1972	800	1,554	2,106	2,106	1,652	630	595	468	399	487	699	848	1,029
	1973	1,696	2,106	2,106	2,106	1,839	728	361	282	301	329	422	695	1,081
	1974	1,342	2,106	2,106	2,106	1,671	581	406	423	388	500	997	1,378	1,167
	1975	1,425	1,709	2,106	2,106	1,499	622	546	398	352	440	671	880	1,063
	1976	2,036	2,106	2,106	1,568	1,444	1,338	602	492	392	313	461	783	1,137
	1977	1,403	2,106	2,106	2,106	1,394	753	556	579	488	700	1,086	1,477	1,229
	1978	2,106	2,106	2,106	2,106	2,106	939	599	452	430	365	551	957	1,235
	1979	2,063	2,106	2,106	2,106	2,004	1,273	980	559	460	819	1,307	1,414	1,433
	1980	1,481	1,951	2,106	2,106	1,697	1,244	1,151	596	551	717	957	1,482	1,337
	1981	1,855	2,106	2,106	2,106	2,106	788	538	511	446	518	724	997	1,233
	1982	1,514	2,106	2,106	2,106	1,647	1,478	1,072	1,046	1,384	1,485	2,087	2,106	1,678
	1983	2,106	2,106	2,106	2,106	na	na	909	779	676	1,078	1,434	2,012	1,531
	1984	2,106	2,106	2,106	2,106	2,106	1,230	766	734	465	706	1,158	978	1,380
	1985	1,380	2,106	2,106	2,106	2,106	919	730	684	558	697	1,197	1,840	1,369
	1986	2,106	2,106	2,106	1,730	1,146	480	441	556	580	707	1,375	1,861	1,266
	1987	2,106	2,106	2,106	2,106	2,106	946	768	500	546	866	1,892	na	1,459
	1988	2,106	2,106	2,106	2,106	2,106	1,308	523	483	na	na	na	na	1,606

Tabla V. 12. Sólidos disueltos totales mensuales en escurrimiento medio por fase.

		SDTRm1	SDTRm2	SDTRm3	SDTRm4	SDTRm5	SDTRm6	SDTRm7	SDTRm8	SDTRm9	SDTRm10	SDTRm11	SDTRm12	SDTRmAvg
		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
FASE 2	1989	na	na	na	2,106	1,988	1,553	871	652	776	909	1,274	na	1,266
	1990	1,713	2,106	2,106	2,106	2,106	2,106	1,774	1,194	728	697	913	1,214	1,564
	1991	1,969	2,106	2,106	2,106	2,106	1,195	655	762	759	765	961	972	1,372
	1992	1,237	1,044	1,328	1,526	1,197	1,140	1,011	828	803	814	998	1,152	1,090
	1993	1,863	2,106	2,106	2,106	2,106	1,792	838	na	na	na	na	na	1,845
	1994	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	
	1995	1,185	1,531	1,745	1,778	1,626	1,275	803	700	742	833	893	954	1,172
	1996	1,022	1,135	1,118	1,111	1,070	944	853	1,008	911	1,004	1,261	1,232	1,056
	1997	1,419	1,431	1,418	1,333	1,161	1,121	1,017	995	945	1,085	1,185	1,282	1,200
	1998	1,306	1,511	1,520	1,507	1,463	1,213	1,115	981	744	715	947	1,047	1,172
	1999	1,231	1,457	1,536	1,555	1,536	1,295	1,186	1,392	768	982	1,069	1,139	1,262
	2000	1,510	1,619	1,715	1,724	1,794	1,345	1,281	1,227	1,125	1,286	1,623	1,894	1,512
	2001	2,038	2,106	2,106	2,106	1,415	1,211	1,016	1,074	845	965	1,181	1,377	1,453
	2002	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	
	2003	1,266	1,550	2,068	1,396	1,408	806	760	777	609	664	895	1,107	1,109
	2004	1,329	1,543	1,611	1,629	na	1,334	1,032	1,005	1,030	1,022	1,146	1,204	1,262
	2005	1,394	1,429	1,458	1,397	1,345	1,245	1,134	629	606	646	838	901	1,085
	2006	965	1,000	978	976	na	710	na	580	500	na	na	na	815
	2010	1,429	753	1,149	1,351	1,403	977	541	494	476	760	1,172	1,400	992
	2011	1,560	1,721	1,853	1,691	1,476	1,224	568	589	624	837	1,250	2,084	1,290
	2012	1,705	1,414	1,595	na	na	na	654	634	759	1,092	1,381	1,952	1,243
	2013	1,581	1,795	1,982	na	na	na	942	899	609	849	1,042	1,533	1,248
Prom fas 2		1,494	1,753	1,854	1,794	1,595	1,003	741	643	581	693	970	1,189	1,202

Tabla V. 13. Energía libre de Gibbs mensual del caudal mínimo por fase.

		$G_{fe}^{Q_{min} 1}$	$G_{fe}^{Q_{min} 2}$	$G_{fe}^{Q_{min} 3}$	$G_{fe}^{Q_{min} 4}$	$G_{fe}^{Q_{min} 5}$	$G_{fe}^{Q_{min} 6}$	$G_{fe}^{Q_{min} 7}$	$G_{fe}^{Q_{min} 8}$	$G_{fe}^{Q_{min} 9}$	$G_{fe}^{Q_{min} 10}$	$G_{fe}^{Q_{min} 11}$	$G_{fe}^{Q_{min} 12}$	$G_{fe}^{Q_{min} Avg}$
		(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)
FASE 0	1942	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920
	1943	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920
	1944	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920
	1945	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920
	1946	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920
	1947	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920
	1948	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920
	1949	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920
	1950	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920
Prom fase 0		4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920
FASE 1	1951	4.887	4.861	4.767	4.713	4.734	4.865	4.895	4.910	4.911	4.903	4.887	4.835	4.847
	1952	4.675	4.654	4.654	4.654	4.709	4.887	4.903	4.908	4.913	4.908	4.900	4.875	4.803
	1953	4.814	4.654	4.654	4.654	4.654	4.704	4.879	4.888	4.894	4.890	4.879	4.857	4.785
	1954	4.716	4.654	4.654	4.654	4.726	4.813	4.876	4.895	4.902	4.908	4.903	4.878	4.798
	1955	4.705	4.654	4.654	4.654	4.654	4.803	4.872	4.900	4.910	4.909	4.897	4.863	4.789
	1956	4.679	4.654	4.654	4.654	4.814	4.856	4.903	4.909	4.909	4.880	4.849	4.811	4.798
	1957	4.654	4.654	4.654	4.654	4.654	4.821	4.871	4.882	4.882	4.846	4.828	4.702	4.758
	1958	4.808	4.715	4.688	4.654	4.663	4.830	4.907	4.911	4.914	4.914	4.912	4.904	4.818
	1959	4.883	4.764	4.673	4.692	4.832	4.827	4.902	4.913	4.909	4.911	4.902	4.872	4.840
	1960	4.818	4.763	4.696	4.708	4.806	4.837	4.890	4.881	4.907	4.888	4.836	4.838	4.822
	1961	4.752	4.656	4.654	4.654	4.694	4.821	4.907	4.908	4.892	4.875	4.863	4.806	4.790
	1962	4.654	4.654	4.654	4.654	4.708	4.744	4.864	4.858	4.907	4.902	4.818	4.837	4.771
	1963	4.654	4.654	4.654	4.692	4.745	4.710	4.890	4.909	4.908	4.901	4.870	4.785	4.781
Prom fase 1		4.746	4.691	4.670	4.668	4.722	4.809	4.889	4.898	4.905	4.895	4.873	4.836	4.800

Tabla V. 14. Energía libre de Gibbs mensual del caudal mínimo por fase.

		$G_{fe}^{Q_{min} 1}$	$G_{fe}^{Q_{min} 2}$	$G_{fe}^{Q_{min} 3}$	$G_{fe}^{Q_{min} 4}$	$G_{fe}^{Q_{min} 5}$	$G_{fe}^{Q_{min} 6}$	$G_{fe}^{Q_{min} 7}$	$G_{fe}^{Q_{min} 8}$	$G_{fe}^{Q_{min} 9}$	$G_{fe}^{Q_{min} 10}$	$G_{fe}^{Q_{min} 11}$	$G_{fe}^{Q_{min} 12}$	$G_{fe}^{Q_{min} Avg}$
		(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)
FASE 2	1964	4.822	4.654	4.654	4.654	4.654	4.843	4.891	4.893	4.891	4.881	4.848	4.797	4.790
	1965	4.655	4.654	4.654	4.654	4.760	4.769	4.693	4.893	4.905	4.901	4.849	4.812	4.766
	1966	4.738	4.654	4.654	4.783	4.738	4.773	4.853	4.907	4.902	4.861	4.839	4.765	4.789
	1967	4.734	4.801	4.781	4.759	4.799	4.803	4.901	4.904	4.910	4.909	4.654	4.838	4.816
	1968	4.766	4.765	4.654	4.654	4.776	4.759	4.900	4.907	4.908	4.878	4.824	4.827	4.801
	1969	4.795	4.654	4.654	4.654	4.654	4.654	4.848	4.877	4.911	4.903	4.863	4.842	4.776
	1970	4.654	4.654	4.654	4.654	4.654	4.730	4.858	4.897	4.905	4.888	4.847	4.781	4.764
	1971	4.654	4.654	4.654	4.654	4.654	4.766	4.874	4.890	4.894	4.903	4.893	4.861	4.779
	1972	4.783	4.654	4.654	4.654	4.654	4.773	4.825	4.870	4.878	4.867	4.840	4.801	4.771
	1973	4.654	4.654	4.654	4.654	4.654	4.654	4.874	4.899	4.902	4.895	4.865	4.771	4.761
	1974	4.663	4.654	4.654	4.654	4.654	4.736	4.879	4.881	4.878	4.833	4.766	4.674	4.744
	1975	4.654	4.654	4.654	4.654	4.654	4.744	4.814	4.878	4.892	4.871	4.841	4.750	4.755
	1976	4.654	4.654	4.654	4.656	4.684	4.654	4.821	4.754	4.870	4.898	4.814	4.790	4.742
	1977	4.703	4.654	4.654	4.654	4.654	4.666	4.821	4.811	4.867	4.801	4.761	4.654	4.725
	1978	4.654	4.654	4.654	4.654	4.654	4.654	4.811	4.872	4.876	4.885	4.824	4.754	4.745
	1979	4.654	4.654	4.654	4.654	4.654	4.688	4.719	4.853	4.866	4.776	4.713	4.671	4.713
	1980	4.654	4.654	4.654	4.654	4.654	4.654	4.708	4.803	4.850	4.829	4.765	4.654	4.711
	1981	4.654	4.654	4.654	4.654	4.654	4.674	4.821	4.863	4.875	4.862	4.811	4.779	4.746
	1982	4.654	4.654	4.654	4.654	4.654	4.654	4.720	4.751	4.690	4.654	4.654	4.654	4.670
	1983	4.654	4.654	4.654	4.654	na	na	4.750	4.787	4.796	4.758	4.701	4.654	4.706
	1984	4.654	4.654	4.654	4.654	4.654	4.654	4.740	4.785	4.849	4.824	4.734	4.752	4.717
	1985	4.709	4.654	4.654	4.654	4.654	4.654	4.782	4.819	4.847	4.814	4.684	4.654	4.715
	1986	4.654	4.654	4.654	4.654	4.654	4.808	4.868	4.845	4.835	4.781	4.698	4.654	4.730
	1987	4.654	4.654	4.654	4.654	4.654	4.703	4.710	4.858	4.847	4.654	4.654	na	4.699
	1988	4.654	4.654	4.654	4.654	4.654	4.654	4.808	4.854	na	na	na	na	4.698

Tabla V. 15. Energía libre de Gibbs mensual del caudal mínimo por fase.

		$G_{fe}^{Q_{min} 1}$	$G_{fe}^{Q_{min} 2}$	$G_{fe}^{Q_{min} 3}$	$G_{fe}^{Q_{min} 4}$	$G_{fe}^{Q_{min} 5}$	$G_{fe}^{Q_{min} 6}$	$G_{fe}^{Q_{min} 7}$	$G_{fe}^{Q_{min} 8}$	$G_{fe}^{Q_{min} 9}$	$G_{fe}^{Q_{min} 10}$	$G_{fe}^{Q_{min} 11}$	$G_{fe}^{Q_{min} 12}$	$G_{fe}^{Q_{min} Avg}$
		(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)
FASE 2	1989	na	na	na	4.654	4.654	4.654	4.782	4.799	4.799	4.792	4.684	na	4.727
	1990	4.654	4.654	4.654	4.654	4.654	4.654	4.654	4.707	4.825	4.824	4.803	4.731	4.705
	1991	4.654	4.654	4.654	4.654	4.654	4.654	4.831	4.825	4.819	4.827	4.790	4.799	4.734
	1992	4.743	4.776	4.715	4.707	4.751	4.738	4.747	4.816	4.814	4.805	4.751	4.768	4.761
	1993	4.654	4.654	4.654	4.654	4.654	4.654	4.792	na	na	na	na	na	4.673
	1994	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	
	1995	4.724	4.714	4.669	4.676	4.709	4.654	4.816	4.838	4.833	4.813	4.810	4.809	4.755
	1996	4.791	4.778	4.769	4.785	4.786	4.789	4.807	4.789	4.810	4.783	4.757	4.769	4.784
	1997	4.735	4.742	4.718	4.742	4.739	4.765	4.768	4.788	4.788	4.778	4.768	4.757	4.757
	1998	4.744	4.702	4.720	4.716	4.729	4.746	4.727	4.759	4.796	4.830	4.799	4.800	4.756
	1999	4.761	4.729	4.721	4.718	4.719	4.733	4.717	4.694	4.763	4.787	4.789	4.783	4.743
	2000	4.725	4.706	4.665	4.667	4.654	4.702	4.748	4.749	4.771	4.750	4.682	4.660	4.706
	2001	4.654	4.654	4.654	4.654	4.718	4.758	4.793	4.779	4.816	4.789	4.762	4.751	4.732
	2002	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	
	2003	4.750	4.685	4.654	4.730	4.732	4.752	4.835	4.835	4.836	4.846	4.797	4.778	4.769
	2004	4.736	4.714	4.705	4.680	4.654	4.693	4.794	4.799	4.719	4.795	4.683	4.777	4.729
	2005	4.739	4.736	4.735	4.737	4.741	4.755	4.780	4.817	4.854	4.848	4.820	4.819	4.782
	2006	4.794	4.798	4.791	4.803	4.810	4.837	4.654	4.851	4.872	na	na	na	4.801
	2010	4.654	4.708	4.763	4.654	4.709	4.654	4.808	4.867	4.844	4.773	4.654	4.654	4.728
	2011	4.720	4.654	4.657	4.654	4.695	4.654	4.837	4.820	4.654	4.785	4.654	4.654	4.703
	2012	4.674	4.654	4.692	na	na	na	4.831	4.811	4.815	4.731	4.654	4.654	4.724
	2013	4.702	4.654	4.654	na	na	na	4.718	4.762	4.826	4.801	4.654	4.654	4.714
Prom fase 2		4.699	4.681	4.675	4.677	4.689	4.713	4.794	4.828	4.839	4.821	4.763	4.745	4.743

Tabla V. 16. Energía libre de Gibbs mensual del escurrimiento medio por fase.

		G_{fe}^{Rm1}	G_{fe}^{Rm2}	G_{fe}^{Rm3}	G_{fe}^{Rm4}	G_{fe}^{Rm5}	G_{fe}^{Rm6}	G_{fe}^{Rm7}	G_{fe}^{Rm8}	G_{fe}^{Rm9}	G_{fe}^{Rm10}	G_{fe}^{Rm11}	G_{fe}^{Rm12}	G_{fe}^{RmAvg}
		(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)
FASE 0	1942	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920
	1943	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920
	1944	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920
	1945	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920
	1946	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920
	1947	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920
	1948	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920
	1949	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920
	1950	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920
Prom fase 0		4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920	4.920
FASE 1	1951	4.892	4.881	4.839	4.733	4.873	4.889	4.907	4.912	4.913	4.909	4.899	4.875	4.877
	1952	4.803	4.730	4.654	4.748	4.828	4.901	4.909	4.911	4.914	4.912	4.906	4.892	4.842
	1953	4.858	4.744	4.696	4.708	4.720	4.866	4.893	4.899	4.901	4.894	4.888	4.871	4.828
	1954	4.811	4.654	4.654	4.662	4.807	4.870	4.894	4.902	4.907	4.912	4.905	4.894	4.823
	1955	4.843	4.702	4.654	4.654	4.745	4.854	4.902	4.907	4.914	4.912	4.904	4.888	4.823
	1956	4.825	4.736	4.654	4.758	4.859	4.890	4.911	4.910	4.911	4.902	4.870	4.854	4.840
	1957	4.718	4.654	4.654	4.664	4.768	4.862	4.884	4.891	4.895	4.879	4.844	4.804	4.793
	1958	4.878	4.830	4.734	4.654	4.848	4.887	4.912	4.913	4.916	4.915	4.914	4.909	4.859
	1959	4.898	4.854	4.770	4.848	4.861	4.898	4.911	4.914	4.912	4.915	4.911	4.891	4.882
	1960	4.858	4.807	4.781	4.803	4.853	4.869	4.906	4.906	4.911	4.901	4.887	4.854	4.861
	1961	4.811	4.760	4.727	4.677	4.788	4.906	4.912	4.911	4.906	4.893	4.873	4.840	4.834
	1962	4.760	4.654	4.654	4.850	4.822	4.862	4.895	4.893	4.911	4.909	4.878	4.849	4.828
	1963	4.773	4.654	4.709	4.750	4.843	4.873	4.908	4.911	4.910	4.910	4.897	4.849	4.832
Prom fase 1		4.825	4.743	4.706	4.731	4.817	4.879	4.903	4.906	4.909	4.905	4.891	4.867	4.840

Tabla V. 17. Energía libre de Gibbs mensual del escurrimiento medio por fase.

		$G_{fe}^{Rm} 1$	$G_{fe}^{Rm} 2$	$G_{fe}^{Rm} 3$	$G_{fe}^{Rm} 4$	$G_{fe}^{Rm} 5$	$G_{fe}^{Rm} 6$	$G_{fe}^{Rm} 7$	$G_{fe}^{Rm} 8$	$G_{fe}^{Rm} 9$	$G_{fe}^{Rm} 10$	$G_{fe}^{Rm} 11$	$G_{fe}^{Rm} 12$	$G_{fe}^{Rm} Avg$
		(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)
FASE 2	1964	4.858	4.783	4.654	4.654	4.809	4.892	4.899	4.898	4.899	4.899	4.876	4.839	4.830
	1965	4.751	4.654	4.654	4.720	4.817	4.853	4.877	4.907	4.910	4.907	4.889	4.855	4.816
	1966	4.782	4.654	4.819	4.816	4.795	4.867	4.899	4.910	4.910	4.889	4.852	4.831	4.835
	1967	4.886	4.855	4.807	4.811	4.848	4.889	4.908	4.910	4.912	4.912	4.897	4.863	4.875
	1968	4.804	4.774	4.694	4.787	4.844	4.886	4.908	4.909	4.910	4.902	4.870	4.848	4.845
	1969	4.844	4.713	4.654	4.654	4.660	4.838	4.886	4.907	4.913	4.908	4.894	4.864	4.811
	1970	4.779	4.666	4.654	4.654	4.695	4.867	4.882	4.905	4.908	4.904	4.880	4.833	4.802
	1971	4.699	4.654	4.654	4.704	4.715	4.872	4.891	4.900	4.902	4.906	4.899	4.884	4.807
	1972	4.835	4.730	4.654	4.654	4.717	4.859	4.864	4.881	4.891	4.879	4.849	4.828	4.803
	1973	4.711	4.654	4.654	4.654	4.691	4.845	4.896	4.907	4.904	4.901	4.888	4.850	4.796
	1974	4.760	4.654	4.654	4.654	4.714	4.866	4.890	4.887	4.892	4.877	4.808	4.755	4.784
	1975	4.748	4.709	4.654	4.654	4.738	4.860	4.870	4.891	4.897	4.885	4.853	4.824	4.799
	1976	4.663	4.654	4.654	4.728	4.746	4.760	4.863	4.878	4.892	4.903	4.882	4.838	4.788
	1977	4.751	4.654	4.654	4.654	4.753	4.842	4.869	4.866	4.879	4.849	4.795	4.741	4.775
	1978	4.654	4.654	4.654	4.654	4.654	4.816	4.863	4.883	4.887	4.896	4.870	4.813	4.775
	1979	4.660	4.654	4.654	4.654	4.668	4.769	4.810	4.869	4.882	4.833	4.765	4.750	4.747
	1980	4.740	4.675	4.654	4.654	4.710	4.773	4.786	4.863	4.870	4.847	4.813	4.740	4.761
	1981	4.689	4.654	4.654	4.654	4.654	4.837	4.871	4.875	4.884	4.874	4.846	4.808	4.775
	1982	4.736	4.654	4.654	4.654	4.717	4.741	4.797	4.801	4.754	4.740	4.656	4.654	4.713
	1983	4.654	4.654	4.654	4.654	na	na	4.820	4.838	4.852	4.796	4.747	4.667	4.733
	1984	4.654	4.654	4.654	4.654	4.654	4.775	4.840	4.844	4.882	4.848	4.785	4.810	4.754
	1985	4.754	4.654	4.654	4.654	4.654	4.819	4.845	4.851	4.869	4.849	4.780	4.691	4.756
	1986	4.654	4.654	4.654	4.706	4.787	4.880	4.885	4.869	4.866	4.848	4.755	4.688	4.770
	1987	4.654	4.654	4.654	4.654	4.654	4.815	4.840	4.877	4.870	4.826	4.683	na	4.744
	1988	4.654	4.654	4.654	4.654	4.654	4.765	4.874	4.879	na	na	na	na	4.723

Tabla V. 18. Energía libre de Gibbs mensual del escurrimiento medio por fase.

		$G_{fe}^{Rm} 1$	$G_{fe}^{Rm} 2$	$G_{fe}^{Rm} 3$	$G_{fe}^{Rm} 4$	$G_{fe}^{Rm} 5$	$G_{fe}^{Rm} 6$	$G_{fe}^{Rm} 7$	$G_{fe}^{Rm} 8$	$G_{fe}^{Rm} 9$	$G_{fe}^{Rm} 10$	$G_{fe}^{Rm} 11$	$G_{fe}^{Rm} 12$	$G_{fe}^{Rm} Avg$
		(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)	(J/g)
FASE 2	1989	na	na	na	4.654	4.670	4.731	4.825	4.856	4.838	4.820	4.769	na	4.770
	1990	4.708	4.654	4.654	4.654	4.654	4.654	4.700	4.780	4.845	4.849	4.819	4.778	4.729
	1991	4.673	4.654	4.654	4.654	4.654	4.780	4.855	4.840	4.841	4.840	4.813	4.811	4.756
	1992	4.774	4.801	4.762	4.734	4.780	4.788	4.806	4.831	4.835	4.833	4.808	4.786	4.795
	1993	4.687	4.654	4.654	4.654	4.654	4.697	4.830	na	na	na	na	na	4.690
	1994	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	
	1995	4.782	4.734	4.704	4.699	4.720	4.769	4.835	4.849	4.843	4.831	4.822	4.814	4.783
	1996	4.804	4.789	4.791	4.792	4.798	4.815	4.828	4.806	4.820	4.807	4.771	4.775	4.800
	1997	4.749	4.747	4.749	4.761	4.785	4.791	4.805	4.808	4.815	4.795	4.782	4.768	4.780
	1998	4.765	4.736	4.735	4.737	4.743	4.778	4.791	4.810	4.843	4.847	4.815	4.801	4.783
	1999	4.775	4.744	4.733	4.730	4.733	4.766	4.782	4.753	4.840	4.810	4.798	4.788	4.771
	2000	4.736	4.721	4.708	4.707	4.697	4.759	4.768	4.776	4.790	4.768	4.721	4.683	4.736
	2001	4.663	4.654	4.654	4.654	4.750	4.778	4.805	4.797	4.829	4.812	4.782	4.755	4.744
	2002	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	
	2003	4.770	4.731	4.659	4.752	4.751	4.834	4.841	4.838	4.862	4.854	4.822	4.792	4.792
	2004	4.762	4.732	4.722	4.720	na	4.761	4.803	4.807	4.803	4.804	4.787	4.779	4.771
	2005	4.753	4.748	4.744	4.752	4.759	4.773	4.789	4.859	4.862	4.857	4.830	4.821	4.795
	2006	4.812	4.807	4.810	4.811	na	4.848	na	4.866	4.877	na	na	na	4.833
	2010	4.748	4.842	4.787	4.759	4.751	4.811	4.871	4.878	4.880	4.841	4.783	4.752	4.808
	2011	4.729	4.707	4.689	4.711	4.741	4.776	4.867	4.864	4.860	4.830	4.773	4.657	4.767
	2012	4.709	4.750	4.725	na	na	na	4.855	4.858	4.841	4.795	4.754	4.675	4.774
	2013	4.727	4.697	4.671	na	na	na	4.815	4.821	4.862	4.828	4.801	4.733	4.773
Prom fase 2		4.739	4.703	4.689	4.697	4.725	4.807	4.843	4.857	4.866	4.850	4.812	4.781	4.779

Tabla V. 19. Precipitación promedio mensual por fase.

		Prc 1	Prc 2	Prc 3	Prc 4	Prc 5	Prc 6	Prc 7	Prc 8	Prc 9	Prc 10	Prc 11	Prc 12
		(hm ³ /mes)	(hm ³ /mes)	(hm ³ /mes)	(hm ³ /mes)	(hm ³ /mes)	(hm ³ /mes)	(hm ³ /mes)	(hm ³ /mes)	(hm ³ /mes)	(hm ³ /mes)	(hm ³ /mes)	(hm ³ /mes)
FASE 0	1942	27.1	0.0	20.6	5.6	56.9	336.8	548.3	430.0	343.3	106.1	117.2	12.7
	1943	0.4	0.0	26.3	116.7	157.6	560.8	307.0	478.3	445.0	59.0	49.2	38.4
	1944	9.9	0.0	16.9	2.1	351.7	283.5	492.5	355.3	323.9	62.7	63.8	0.0
	1945	na	na	41.0	24.1	128.8	235.4	226.9	422.3	575.6	100.8	71.6	0.0
	1946	19.1	8.0	21.8	65.4	177.5	270.7	214.3	329.8	268.9	119.4	58.5	6.3
	1947	7.1	1.3	0.0	39.7	248.8	202.2	429.6	407.6	215.3	176.3	46.2	87.1
	1948	75.8	0.0	8.4	73.5	134.5	322.4	342.2	324.2	250.7	107.4	89.2	13.0
	1949	0.0	0.0	20.3	1.3	79.9	135.4	244.1	189.7	192.6	46.4	4.5	3.5
	1950	13.4	10.3	39.6	41.8	116.3	214.4	227.7	159.7	167.8	61.6	1.8	2.8
Prom fase 0		19	2	22	41	161	285	337	344	309	93	56	18
FASE 1	1951	0.0	0.0	42.3	36.5	143.4	260.3	280.8	361.5	170.0	72.7	75.3	9.7
	1952	33.1	0.0	0.9	47.5	209.4	390.2	302.7	381.8	266.7	2.1	91.3	1.1
	1953	1.0	1.5	51.8	11.2	58.0	322.3	332.0	435.5	198.6	212.3	58.5	4.7
	1954	0.0	84.9	24.1	108.0	296.6	277.5	333.1	296.3	319.5	208.7	44.6	0.0
	1955	6.2	0.0	2.8	0.0	128.9	311.5	388.2	365.6	365.6	111.9	83.9	10.6
	1956	3.2	43.8	4.0	90.0	277.8	350.8	404.9	250.9	211.6	11.5	87.0	16.0
	1957	0.0	27.1	0.0	47.8	122.7	244.6	408.3	329.2	284.0	36.6	19.6	1.1
	1958	278.4	7.0	0.0	7.6	242.2	326.6	401.1	337.9	411.5	212.5	179.1	81.5
	1959	47.7	11.3	0.5	107.1	102.7	336.7	428.5	331.9	123.2	304.3	34.4	4.5
	1960	14.9	1.6	4.6	12.6	72.9	166.7	411.9	347.6	290.0	156.3	9.8	20.9
	1961	18.9	3.8	11.6	28.5	68.4	449.2	422.4	316.3	275.2	58.8	47.4	11.9
	1962	1.8	2.5	4.9	160.3	119.0	306.9	268.9	362.8	387.3	164.0	33.7	13.1
	1963	2.2	3.5	49.2	28.3	139.7	271.9	456.6	375.5	325.2	199.4	16.0	7.0
Prom fase 1		31	14	15	53	152	309	372	346	279	135	60	14

Tabla V. 20. Precipitación promedio mensual por fase.

		Prc 1	Prc 2	Prc 3	Prc 4	Prc 5	Prc 6	Prc 7	Prc 8	Prc 9	Prc 10	Prc 11	Prc 12
		(hm ³ /mes)	(hm ³ /mes)	(hm ³ /mes)	(hm ³ /mes)	(hm ³ /mes)	(hm ³ /mes)	(hm ³ /mes)	(hm ³ /mes)	(hm ³ /mes)	(hm ³ /mes)	(hm ³ /mes)	(hm ³ /mes)
FASE 2	1964	87.9	0.8	20.9	34.1	220.9	381.6	359.0	264.8	356.8	77.6	49.8	34.7
	1965	14.8	39.3	11.2	78.0	117.4	296.7	315.9	542.9	302.3	165.0	20.3	18.0
	1966	19.4	8.9	98.2	93.2	112.8	227.8	423.6	389.2	247.0	131.5	3.3	13.1
	1967	158.0	4.7	19.9	58.5	158.1	338.9	342.6	446.3	502.4	178.5	15.9	14.5
	1968	9.6	38.3	11.1	124.6	155.1	420.4	392.2	312.0	315.1	103.0	11.6	50.9
	1969	22.7	2.5	23.6	23.3	48.0	190.4	386.8	654.4	321.7	84.7	5.2	1.7
	1970	3.0	12.7	1.7	8.9	97.6	367.8	395.6	312.9	366.8	74.7	12.6	0.4
	1971	4.2	1.4	40.2	38.6	115.5	345.4	399.5	385.7	417.2	216.5	25.4	15.5
	1972	2.6	6.6	30.5	59.7	178.0	404.3	365.8	280.8	341.3	125.8	46.5	18.4
	1973	1.7	7.9	1.3	74.8	162.2	327.0	477.0	489.5	325.6	166.9	36.9	4.9
	1974	11.0	17.4	36.0	65.6	128.0	382.2	401.8	275.6	308.2	53.1	33.3	2.8
	1975	92.8	9.9	5.5	28.2	218.0	414.1	360.1	374.9	255.0	105.6	5.4	1.3
	1976	3.8	11.1	23.2	103.6	132.2	202.5	431.5	416.1	329.1	355.2	54.3	54.2
	1977	9.5	12.7	9.9	43.3	164.8	338.8	336.1	325.3	298.9	123.0	31.8	23.9
	1978	12.3	40.7	72.2	31.9	73.8	437.5	428.5	335.6	346.0	226.1	33.7	20.1
	1979	0.4	44.2	14.0	54.2	152.4	218.7	376.5	372.1	297.8	27.7	12.7	70.2
	1980	212.2	7.3	5.9	87.2	166.2	267.8	289.5	462.0	304.5	131.4	59.4	5.4
	1981	65.9	58.6	23.0	107.3	151.9	448.2	420.7	407.7	274.0	150.5	19.0	21.8
	1982	1.4	50.5	30.5	80.3	212.6	189.4	321.2	259.0	164.4	124.0	17.8	17.4
	1983	52.0	36.0	28.5	0.1	59.0	233.6	464.9	329.1	331.4	82.5	51.8	14.8
	1984	31.2	17.6	11.3	4.7	171.1	376.1	414.3	346.5	387.0	157.5	8.9	9.3
	1985	4.4	15.7	29.2	92.1	151.9	505.5	372.7	305.8	300.0	92.8	36.0	20.3
	1986	2.7	6.5	1.1	118.5	256.5	492.2	311.6	286.8	253.9	149.2	44.6	17.4
	1987	0.1	10.9	25.6	61.8	108.8	353.4	478.7	354.6	246.3	14.1	37.8	1.9
	1988	6.8	11.1	87.5	18.2	70.3	300.9	491.8	368.2	300.0	76.8	36.9	10.0

Tabla V. 21. Precipitación promedio mensual por fase.

		Prc 1	Prc 2	Prc 3	Prc 4	Prc 5	Prc 6	Prc 7	Prc 8	Prc 9	Prc 10	Prc 11	Prc 12
		(hm ³ /mes)	(hm ³ /mes)	(hm ³ /mes)	(hm ³ /mes)	(hm ³ /mes)	(hm ³ /mes)	(hm ³ /mes)	(hm ³ /mes)	(hm ³ /mes)	(hm ³ /mes)	(hm ³ /mes)	(hm ³ /mes)
FASE 2	1989	9.0	13.5	14.4	35.4	148.7	305.3	366.8	389.3	292.6	113.3	30.2	44.4
	1990	20.5	24.0	27.2	83.6	167.4	281.8	434.1	391.8	297.7	232.0	32.0	26.1
	1991	7.6	9.0	7.0	13.6	144.9	432.5	371.7	334.1	303.6	216.1	38.3	17.2
	1992	199.4	65.3	8.6	47.3	231.2	169.4	396.3	400.0	346.7	187.2	103.5	13.2
	1993	18.1	14.3	8.6	43.0	27.8	412.4	432.4	349.7	392.4	94.6	37.3	0.7
	1994	25.0	15.0	14.4	96.1	119.8	428.8	256.5	396.0	294.0	231.0	14.7	7.7
	1995	45.8	39.5	25.4	48.0	238.1	409.5	418.0	485.6	294.2	91.3	106.6	111.4
	1996	1.6	2.2	7.3	33.0	105.4	367.1	398.4	313.5	288.6	159.5	6.4	48.3
	1997	12.2	5.9	82.8	110.7	192.1	284.9	400.4	293.8	295.2	130.9	41.7	23.7
	1998	29.2	7.5	0.5	2.6	13.0	268.1	401.6	514.7	684.1	238.5	55.0	2.3
	1999	1.0	7.8	21.6	33.5	86.1	326.7	345.2	524.8	212.9	156.4	15.6	4.4
	2000	0.6	6.6	6.4	18.4	224.9	460.1	296.3	383.0	316.0	118.2	25.5	8.4
	2001	13.1	14.8	42.4	147.2	216.9	395.7	408.5	406.5	385.1	78.7	15.9	13.5
	2002	42.3	22.3	21.0	52.2	85.3	337.6	359.7	287.8	491.1	198.2	98.7	4.4
	2003	10.1	0.8	20.9	53.0	76.2	550.3	386.3	447.5	477.6	208.0	36.6	9.6
	2004	67.0	1.5	47.4	42.6	186.7	429.9	360.4	398.2	427.9	184.3	28.8	2.8
	2005	26.6	8.6	26.3	54.5	99.6	285.1	616.0	547.5	374.2	195.3	20.1	176.4
	2006	8.5	5.2	18.8	104.6	258.2	307.6	557.8	624.3	466.1	300.0	87.7	4.7
	2010	73.6	233.0	0.1	26.5	109.2	272.5	576.7	382.1	341.6	15.3	14.3	0.5
	2011	2.2	4.0	13.7	93.0	116.9	287.7	584.2	484.0	215.5	178.7	84.4	12.1
	2012	26.7	190.9	56.0	17.9	117.2	440.6	482.0	482.1	274.5	97.9	40.3	0.2
	2013	13.1	37.3	17.4	67.0	111.8	252.1	376.2	373.0	510.7	167.8	103.7	34.3
Prom fase 2		31	25	24	58	142	342	404	395	343	146	36	21

Tabla V. 22. Valor unitario de emergía de escurrimiento medio.

		UEVRm1	UEVRm2	UEVRm3	UEVRm4	UEVRm5	UEVRm6	UEVRm7	UEVRm8	UEVRm9	UEVRm10	UEVRm11	UEVRm12
		(SeJ/J)	(SeJ/J)	(SeJ/J)	(SeJ/J)	(SeJ/J)	(SeJ/J)	(SeJ/J)	(SeJ/J)	(SeJ/J)	(SeJ/J)	(SeJ/J)	(SeJ/J)
FASE 0	1942	na	na	na	299,418	702,246	1,222,257	610,216	513,741	294,314	130,748	68,260	42,810
	1943	94,740	110,285	138,998	424,138	946,145	598,185	615,881	508,888	270,314	121,368	64,450	43,176
	1944	94,471	100,425	198,993	727,389	1,191,955	1,645,712	1,009,727	591,927	299,187	141,784	77,146	48,517
	1945	101,543	124,601	273,760	838,406	1,358,565	2,621,047	1,219,207	528,613	392,593	179,600	99,513	61,496
	1946	121,997	158,668	275,958	556,378	917,531	1,727,258	979,421	667,649	499,120	207,682	86,381	56,938
	1947	119,377	142,998	221,614	825,182	1,115,621	1,941,996	1,325,560	545,259	265,408	147,411	78,392	49,234
	1948	85,252	86,115	158,962	572,365	1,099,588	1,983,503	674,686	404,020	341,010	208,042	100,578	52,605
	1949	100,342	98,145	115,917	337,611	1,677,967	1,827,247	996,361	656,709	579,839	249,694	123,428	76,578
	1950	116,176	102,993	147,237	652,150	1,395,716	1,772,904	1,056,651	986,867	925,311	402,090	163,750	91,557
Prom fase 0		104,237	115,529	191,430	581,448	1,156,148	1,704,457	943,079	600,408	429,677	198,713	95,766	58,101
FASE 1	1951	125,959	133,621	273,478	1,635,975	1,039,660	1,596,581	751,684	446,334	372,623	234,084	140,967	133,400
	1952	514,641	658,657	1,456,109	1,469,746	2,013,916	925,416	644,819	520,272	287,183	153,244	87,157	81,333
	1953	262,703	594,677	748,384	1,788,168	4,352,297	2,646,604	1,511,304	1,169,856	931,610	512,374	203,291	137,538
	1954	458,758	1,047,040	1,418,128	2,145,299	2,359,538	2,411,468	1,419,825	946,588	617,160	158,220	89,620	71,256
	1955	317,399	712,131	1,239,685	3,646,033	3,631,824	3,136,689	958,775	657,161	278,108	147,028	99,258	85,395
	1956	381,446	585,470	1,249,355	1,267,555	1,207,224	1,358,930	487,500	497,889	387,591	338,139	298,401	175,369
	1957	816,282	1,687,001	2,323,041	1,997,083	3,019,226	2,614,868	1,845,408	1,441,512	1,138,193	738,082	443,806	303,391
	1958	161,677	269,983	554,362	2,180,695	1,382,975	1,473,569	419,310	342,789	189,065	86,585	35,785	27,761
	1959	81,699	191,964	436,811	524,264	1,107,360	963,545	453,386	308,484	327,800	94,611	50,402	71,985
	1960	228,146	326,524	394,283	838,467	1,228,646	2,162,518	662,906	679,440	365,855	330,153	180,035	160,825
	1961	382,987	442,537	524,513	1,692,363	2,333,261	580,239	380,920	389,515	573,497	441,365	244,945	185,271
	1962	541,386	1,367,231	1,683,093	442,754	1,629,702	2,231,211	1,093,408	1,142,421	337,445	161,161	205,553	156,426
	1963	470,696	716,274	518,384	1,048,646	1,215,323	1,700,428	485,946	347,558	346,999	142,316	105,913	149,161
Prom fase 1		364,906	671,778	986,125	1,590,542	2,040,073	1,830,928	855,015	683,832	473,318	272,105	168,087	133,778

Tabla V. 23. Valor unitario de emergencia de escurrimiento medio.

		UEVRm1	UEVRm2	UEVRm3	UEVRm4	UEVRm5	UEVRm6	UEVRm7	UEVRm8	UEVRm9	UEVRm10	UEVRm11	UEVRm12
		(SeJ/J)	(SeJ/J)	(SeJ/J)	(SeJ/J)	(SeJ/J)	(SeJ/J)	(SeJ/J)	(SeJ/J)	(SeJ/J)	(SeJ/J)	(SeJ/J)	(SeJ/J)
FASE 2	1964	185,651	323,582	726,789	1,610,865	1,670,923	977,556	848,370	856,844	734,740	289,541	198,080	160,522
	1965	494,924	750,938	884,287	1,131,242	1,490,115	2,208,319	1,642,863	484,734	340,815	167,692	130,328	122,835
	1966	383,694	591,430	212,767	553,560	1,728,626	1,684,589	766,884	352,509	309,497	401,045	277,638	161,683
	1967	88,952	132,875	227,395	554,856	947,395	944,811	423,370	323,591	225,668	95,658	89,503	98,733
	1968	295,859	290,085	448,004	655,148	957,176	979,830	410,734	348,812	291,476	206,742	188,527	121,289
	1969	185,541	401,288	751,892	1,586,022	3,278,439	2,325,932	1,079,874	393,659	201,005	132,599	93,525	90,770
	1970	336,649	479,454	776,731	2,391,517	2,718,550	1,429,282	1,174,841	440,304	319,218	173,993	139,919	134,866
	1971	459,354	447,222	754,845	858,775	2,112,907	1,114,154	755,763	518,627	411,075	128,327	62,997	48,175
	1972	150,333	265,665	593,369	944,339	1,834,718	1,246,722	1,315,107	876,208	585,393	338,510	186,388	107,256
	1973	338,324	636,915	1,541,702	1,953,969	1,850,662	1,358,580	492,327	258,801	277,942	140,801	75,131	73,001
	1974	230,691	419,693	398,232	843,465	1,489,958	886,708	559,160	588,047	444,288	283,418	238,673	157,515
	1975	225,378	216,557	516,390	952,466	1,191,893	892,174	840,426	476,300	331,794	208,226	128,475	82,050
	1976	314,650	444,234	547,260	443,772	1,045,483	2,214,279	893,782	637,013	378,373	93,821	66,037	64,467
	1977	187,351	395,046	555,011	599,707	925,685	985,873	732,362	757,183	515,508	360,962	204,654	131,699
	1978	406,887	723,150	397,127	574,206	1,707,250	1,225,121	761,219	473,813	386,083	114,164	75,589	71,896
	1979	255,764	424,978	445,163	753,621	1,230,851	1,669,138	1,384,853	622,916	404,677	386,774	222,582	108,417
	1980	162,544	174,181	249,183	550,510	950,505	1,522,440	1,586,859	643,750	508,436	303,104	142,034	107,569
	1981	204,523	238,487	304,295	641,942	1,206,537	822,949	546,975	490,787	348,291	181,461	94,862	63,959
	1982	155,644	190,667	268,381	500,093	855,962	1,746,417	1,356,864	1,280,118	1,604,496	709,810	338,256	161,924
	1983	325,763	513,871	496,469	1,614,689	na	na	1,065,026	846,357	620,206	465,912	210,583	139,009
	1984	312,486	432,588	566,610	1,507,161	1,400,015	1,312,540	822,845	755,963	338,160	259,390	157,468	56,541
	1985	126,664	203,156	345,179	511,199	1,105,711	884,139	747,963	664,629	439,542	247,411	158,953	117,646
	1986	270,537	261,211	336,844	307,810	487,798	337,753	335,576	477,044	452,924	244,444	182,470	115,646
	1987	339,227	317,485	323,097	546,759	980,010	865,044	754,802	392,314	401,001	311,929	258,510	na
	1988	323,593	330,272	169,759	459,577	1,064,961	1,255,825	420,510	360,115	na	na	na	na

Tabla V. 24. Valor unitario de energía de escurrimiento medio.

		UEVRm1	UEVRm2	UEVRm3	UEVRm4	UEVRm5	UEVRm6	UEVRm7	UEVRm8	UEVRm9	UEVRm10	UEVRm11	UEVRm12
		(SeI/J)	(SeI/J)	(SeI/J)	(SeI/J)	(SeI/J)	(SeI/J)	(SeI/J)	(SeI/J)	(SeI/J)	(SeI/J)	(SeI/J)	(SeI/J)
FASE 2	1989	na	na	na	478,846	863,892	1,499,356	843,591	554,394	627,823	314,175	152,844	na
	1990	141,914	144,325	205,917	588,843	1,268,447	2,836,946	1,959,162	1,188,428	560,111	214,612	98,251	62,221
	1991	160,516	147,803	161,707	433,975	893,743	1,023,656	535,918	643,072	569,201	234,145	100,769	45,356
	1992	88,957	55,884	73,462	219,267	425,297	929,265	917,837	691,350	590,824	244,610	101,745	53,908
	1993	139,417	125,184	176,454	465,494	1,198,663	1,538,404	694,924	na	na	na	na	na
	1994	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na
	1995	75,756	79,906	91,218	235,750	551,414	956,635	611,580	494,166	477,272	226,326	79,254	38,222
	1996	59,197	52,240	50,179	125,929	312,214	618,534	622,189	750,100	586,942	270,079	114,459	49,329
	1997	83,331	65,207	63,105	148,168	325,266	722,327	734,339	694,543	579,789	280,567	99,964	48,764
	1998	71,257	65,736	64,767	162,155	406,281	752,212	778,472	645,441	399,832	154,151	71,371	35,937
	1999	62,887	59,665	62,166	159,504	408,306	772,125	795,511	940,417	395,780	221,907	78,856	37,815
	2000	76,431	64,292	67,329	171,250	465,962	768,007	831,183	767,455	614,585	294,319	124,165	65,948
	2001	106,406	104,222	113,199	238,725	344,873	662,568	611,814	638,503	418,420	201,911	83,054	44,333
	2002	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na
	2003	58,227	57,455	78,818	125,543	329,237	379,938	402,640	403,923	255,911	117,673	56,334	32,653
	2004	60,561	56,057	57,723	147,836	na	702,154	587,647	553,417	508,287	204,638	75,393	35,503
	2005	62,902	50,216	50,288	120,830	299,851	634,030	648,417	289,932	244,120	108,875	49,761	24,213
	2006	39,038	31,639	30,082	75,870	na	300,411	na	250,894	177,053	na	na	na
	2010	57,615	19,927	33,537	103,271	280,473	417,248	211,016	178,050	148,859	121,504	67,683	37,179
	2011	62,933	54,728	58,398	132,565	293,215	543,009	223,725	229,949	222,885	135,874	71,997	58,391
	2012	68,735	42,675	48,159	na	na	na	270,992	252,258	288,409	187,741	79,871	53,253
	2013	61,884	55,684	61,160	na	na	na	435,590	398,859	208,669	134,177	55,726	39,464
Prom fase 2		188,612	248,588	326,919	632,118	1,072,482	1,117,786	782,634	565,582	435,939	236,024	130,540	81,499

Tabla V. 25. Valor energético mensual del caudal mínimo.

		Ve1	Ve2	Ve3	Ve4	Ve5	Ve6	Ve7	Ve8	Ve9	Ve10	Ve11	Ve12
		(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)
FASE 0	1942	na	na	na	2.51E+13	2.59E+13	2.44E+13	4.55E+13	8.45E+13	1.27E+14	1.28E+14	7.33E+13	5.41E+13
	1943	3.58E+13	2.47E+13	2.16E+13	1.60E+13	1.77E+13	3.43E+13	7.32E+13	7.49E+13	1.37E+14	1.31E+14	7.28E+13	5.33E+13
	1944	3.97E+13	2.09E+13	1.17E+13	9.68E+12	1.21E+13	1.72E+13	3.58E+13	6.19E+13	1.17E+14	9.31E+13	6.34E+13	5.45E+13
	1945	3.49E+13	1.55E+13	8.56E+12	8.35E+12	1.36E+13	1.44E+13	1.69E+13	7.38E+13	1.19E+14	8.79E+13	5.16E+13	3.92E+13
	1946	3.13E+13	1.30E+13	7.71E+12	7.27E+12	1.94E+13	1.31E+13	5.33E+13	6.30E+13	8.07E+13	9.05E+13	6.29E+13	4.27E+13
	1947	2.83E+13	1.70E+13	1.16E+13	7.73E+12	1.41E+13	1.74E+13	2.90E+13	5.96E+13	1.32E+14	1.13E+14	6.01E+13	5.43E+13
	1948	4.88E+13	2.44E+13	1.27E+13	9.42E+12	1.40E+13	1.29E+13	4.27E+13	1.11E+14	1.19E+14	8.07E+13	3.80E+13	4.75E+13
	1949	4.05E+13	2.74E+13	2.67E+13	2.06E+13	8.82E+12	1.54E+13	4.08E+13	7.31E+13	7.81E+13	7.86E+13	3.72E+13	3.33E+13
	1950	3.17E+13	2.51E+13	1.59E+13	9.23E+12	8.55E+12	1.85E+13	3.73E+13	5.14E+13	4.08E+13	4.36E+13	3.48E+13	2.90E+13
Prom fase 0		3.64E+13	2.10E+13	1.46E+13	1.26E+13	1.49E+13	1.86E+13	4.16E+13	7.26E+13	1.06E+14	9.40E+13	5.49E+13	4.53E+13
FASE 1	1951	2.99E+13	1.53E+13	6.40E+12	4.53E+12	5.24E+12	1.75E+13	4.03E+13	1.05E+14	1.13E+14	5.84E+13	2.92E+13	1.16E+13
	1952	4.02E+12	2.43E+12	1.53E+12	2.51E+12	4.68E+12	3.01E+13	6.14E+13	8.27E+13	1.33E+14	8.40E+13	4.98E+13	2.26E+13
	1953	9.72E+12	2.60E+12	3.18E+12	2.58E+12	3.47E+12	4.52E+12	2.57E+13	3.30E+13	3.93E+13	3.55E+13	2.46E+13	1.64E+13
	1954	5.08E+12	1.81E+12	1.70E+12	8.56E+11	5.35E+12	9.58E+12	2.41E+13	4.31E+13	5.67E+13	9.08E+13	6.06E+13	2.52E+13
	1955	4.89E+12	1.93E+12	2.19E+12	1.60E+12	1.60E+12	8.91E+12	2.30E+13	5.41E+13	1.05E+14	9.68E+13	4.53E+13	1.93E+13
	1956	4.43E+12	1.93E+12	1.96E+12	2.97E+12	1.04E+13	1.69E+13	6.78E+13	1.01E+14	1.02E+14	2.77E+13	1.50E+13	1.01E+13
	1957	2.00E+12	1.16E+12	1.10E+12	1.54E+12	3.74E+12	1.10E+13	2.29E+13	2.98E+13	2.93E+13	1.54E+13	1.18E+13	5.04E+12
	1958	1.02E+13	4.95E+12	4.80E+12	2.83E+12	4.32E+12	1.24E+13	9.27E+13	1.27E+14	2.03E+14	2.01E+14	1.49E+14	7.21E+13
	1959	3.24E+13	6.71E+12	4.59E+12	4.83E+12	1.33E+13	1.22E+13	6.54E+13	1.64E+14	1.02E+14	1.37E+14	6.41E+13	2.48E+13
	1960	1.17E+13	6.76E+12	5.19E+12	5.31E+12	1.05E+13	1.39E+13	4.01E+13	3.06E+13	9.08E+13	3.75E+13	1.39E+13	1.46E+13
	1961	7.41E+12	4.17E+12	3.48E+12	3.12E+12	5.43E+12	1.23E+13	1.02E+14	1.04E+14	4.36E+13	2.84E+13	2.15E+13	1.10E+13
	1962	4.14E+12	1.71E+12	1.57E+12	1.74E+12	6.14E+12	7.19E+12	2.39E+13	2.17E+13	1.03E+14	7.53E+13	1.26E+13	1.60E+13
	1963	4.98E+12	2.81E+12	3.75E+12	5.79E+12	7.88E+12	6.29E+12	4.80E+13	1.26E+14	1.18E+14	7.30E+13	2.72E+13	1.03E+13
Prom fase 1		1.01E+13	4.18E+12	3.19E+12	3.09E+12	6.31E+12	1.25E+13	4.91E+13	7.87E+13	9.52E+13	7.40E+13	4.04E+13	1.99E+13

Tabla V. 26. Valor energético mensual del caudal mínimo.

		Ve1	Ve2	Ve3	Ve4	Ve5	Ve6	Ve7	Ve8	Ve9	Ve10	Ve11	Ve12
		(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)
FASE 2	1964	1.50E+13	2.96E+12	2.75E+12	2.96E+12	4.23E+12	1.84E+13	5.11E+13	5.56E+13	5.01E+13	3.83E+13	2.00E+13	1.19E+13
	1965	5.60E+12	2.79E+12	2.89E+12	4.67E+12	9.50E+12	9.75E+12	6.59E+12	5.84E+13	9.99E+13	8.18E+13	2.11E+13	1.42E+13
	1966	8.68E+12	2.66E+12	2.59E+12	1.13E+13	8.68E+12	1.05E+13	2.42E+13	1.21E+14	8.81E+13	2.76E+13	1.91E+13	1.02E+13
	1967	8.86E+12	1.27E+13	1.19E+13	9.94E+12	1.38E+13	1.38E+13	8.89E+13	1.06E+14	1.68E+14	1.58E+14	4.96E+12	2.05E+13
	1968	1.12E+13	1.00E+13	4.83E+12	5.60E+12	1.20E+13	1.04E+13	8.75E+13	1.41E+14	1.40E+14	4.21E+13	1.75E+13	1.88E+13
	1969	1.45E+13	3.97E+12	3.32E+12	3.51E+12	4.19E+12	6.12E+12	2.53E+13	4.26E+13	1.98E+14	1.11E+14	3.12E+13	2.34E+13
	1970	3.64E+12	3.90E+12	1.97E+12	2.35E+12	2.99E+12	9.42E+12	3.04E+13	8.15E+13	1.21E+14	5.97E+13	2.52E+13	1.35E+13
	1971	3.55E+12	4.78E+12	1.73E+12	5.90E+12	5.27E+12	1.36E+13	4.81E+13	7.33E+13	8.32E+13	1.30E+14	7.90E+13	3.74E+13
	1972	1.82E+13	7.13E+12	3.83E+12	4.32E+12	6.38E+12	1.63E+13	2.64E+13	5.05E+13	5.83E+13	4.81E+13	3.05E+13	2.10E+13
	1973	8.09E+12	1.47E+12	2.59E+11	7.60E+11	4.75E+12	5.10E+12	6.12E+13	1.36E+14	1.50E+14	1.13E+14	5.03E+13	1.87E+13
	1974	1.18E+13	5.42E+12	5.87E+12	7.48E+12	8.81E+12	1.61E+13	7.65E+13	8.08E+13	7.24E+13	3.59E+13	1.94E+13	1.23E+13
	1975	8.49E+12	3.15E+12	3.27E+12	3.08E+12	1.07E+13	1.86E+13	3.22E+13	8.34E+13	1.21E+14	7.08E+13	4.22E+13	1.99E+13
	1976	9.14E+12	5.42E+12	3.30E+12	1.33E+13	1.54E+13	1.14E+13	3.77E+13	2.23E+13	7.28E+13	1.71E+14	3.42E+13	2.87E+13
	1977	1.82E+13	2.54E+12	3.19E+12	6.71E+12	1.42E+13	1.50E+13	4.10E+13	3.72E+13	7.49E+13	3.38E+13	2.44E+13	1.45E+13
	1978	5.71E+12	2.79E+12	2.87E+12	1.13E+13	1.01E+13	1.29E+13	3.99E+13	9.16E+13	9.65E+13	1.25E+14	4.38E+13	2.60E+13
	1979	1.05E+13	5.67E+12	5.88E+12	8.02E+12	7.65E+12	1.90E+13	2.27E+13	6.98E+13	8.40E+13	3.22E+13	2.14E+13	1.82E+13
	1980	1.45E+13	9.72E+12	1.08E+13	1.19E+13	1.05E+13	8.18E+12	2.29E+13	4.26E+13	6.98E+13	5.51E+13	3.09E+13	1.78E+13
	1981	1.69E+13	1.03E+13	9.87E+12	9.76E+12	1.28E+13	1.97E+13	5.24E+13	9.18E+13	1.13E+14	8.90E+13	4.57E+13	3.62E+13
	1982	1.86E+13	1.25E+13	9.14E+12	1.00E+13	1.26E+13	1.61E+13	2.62E+13	3.12E+13	2.19E+13	1.90E+13	1.44E+13	1.69E+13
	1983	9.57E+12	4.04E+12	4.71E+12	4.09E+12	na	na	3.20E+13	4.12E+13	4.30E+13	3.36E+13	2.39E+13	1.30E+13
	1984	1.20E+13	4.72E+12	5.15E+12	4.43E+12	5.62E+12	1.46E+13	3.12E+13	4.19E+13	7.80E+13	5.96E+13	2.91E+13	3.34E+13
	1985	2.73E+13	8.20E+12	8.49E+12	7.96E+12	1.32E+13	1.57E+13	4.21E+13	5.80E+13	7.88E+13	5.55E+13	2.35E+13	1.11E+13
	1986	8.67E+12	6.72E+12	5.15E+12	3.08E+12	1.97E+13	5.20E+13	1.18E+14	8.09E+13	6.93E+13	4.33E+13	2.58E+13	1.58E+13
	1987	9.24E+12	6.59E+12	8.01E+12	9.37E+12	1.77E+13	2.72E+13	2.90E+13	1.01E+14	8.29E+13	1.95E+13	1.90E+13	na
	1988	1.08E+13	8.44E+12	1.02E+13	1.17E+13	1.57E+13	1.54E+13	5.72E+13	9.81E+13	na	na	na	na

Tabla V. 27. Valor energético mensual del caudal mínimo.

		Ve1	Ve2	Ve3	Ve4	Ve5	Ve6	Ve7	Ve8	Ve9	Ve10	Ve11	Ve12
		(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)
FASE 2	1989	na	na	na	5.05E+12	1.70E+13	2.06E+13	4.73E+13	5.43E+13	5.25E+13	5.14E+13	2.63E+13	na
	1990	2.32E+13	1.58E+13	1.19E+13	1.17E+13	1.30E+13	1.37E+13	2.24E+13	3.11E+13	6.90E+13	7.03E+13	5.61E+13	3.52E+13
	1991	2.17E+13	1.74E+13	1.56E+13	1.47E+13	1.65E+13	1.89E+13	7.91E+13	7.44E+13	6.77E+13	7.62E+13	5.24E+13	5.82E+13
	1992	4.08E+13	4.55E+13	3.51E+13	3.25E+13	4.27E+13	3.84E+13	4.19E+13	7.04E+13	6.70E+13	6.38E+13	4.14E+13	4.79E+13
	1993	2.72E+13	2.10E+13	1.58E+13	1.33E+13	1.42E+13	1.11E+13	5.90E+13	na	na	na	na	na
	1994	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na
	1995	4.09E+13	3.51E+13	3.15E+13	3.14E+13	3.79E+13	2.72E+13	7.82E+13	9.98E+13	9.10E+13	7.61E+13	7.16E+13	7.33E+13
	1996	6.70E+13	5.50E+13	5.70E+13	6.19E+13	6.47E+13	6.40E+13	7.68E+13	6.63E+13	7.63E+13	6.30E+13	5.10E+13	5.72E+13
	1997	4.92E+13	4.63E+13	4.48E+13	4.94E+13	5.02E+13	5.70E+13	6.04E+13	6.93E+13	6.71E+13	6.46E+13	5.84E+13	5.59E+13
	1998	5.48E+13	3.95E+13	4.79E+13	4.54E+13	5.04E+13	5.35E+13	4.98E+13	5.98E+13	7.60E+13	1.09E+14	7.78E+13	8.14E+13
	1999	6.43E+13	4.79E+13	5.09E+13	4.85E+13	5.04E+13	5.24E+13	4.97E+13	4.45E+13	6.30E+13	7.71E+13	7.60E+13	7.45E+13
	2000	5.44E+13	4.46E+13	4.12E+13	4.02E+13	3.56E+13	4.71E+13	6.23E+13	6.24E+13	6.96E+13	6.29E+13	4.28E+13	4.04E+13
	2001	3.43E+13	2.55E+13	2.40E+13	2.53E+13	5.38E+13	6.52E+13	8.70E+13	7.80E+13	1.03E+14	8.37E+13	6.72E+13	6.47E+13
	2002	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na
	2003	6.68E+13	4.31E+13	3.87E+13	5.76E+13	6.03E+13	6.54E+13	1.36E+14	1.36E+14	1.33E+14	1.56E+14	9.04E+13	8.08E+13
	2004	6.28E+13	5.05E+13	5.34E+13	4.61E+13	4.09E+13	4.88E+13	9.31E+13	9.64E+13	5.55E+13	9.35E+13	4.67E+13	8.17E+13
	2005	6.51E+13	5.77E+13	6.38E+13	6.23E+13	6.58E+13	6.93E+13	8.47E+13	1.16E+14	1.78E+14	1.67E+14	1.16E+14	1.19E+14
	2006	9.70E+13	9.04E+13	9.45E+13	1.01E+14	1.11E+14	1.44E+14	0.00E+00	1.78E+14	2.48E+14	na	na	na
	2010	2.13E+13	5.61E+13	8.48E+13	2.34E+13	6.23E+13	3.03E+13	1.20E+14	2.57E+14	1.73E+14	9.10E+13	2.70E+13	2.60E+13
	2011	6.69E+13	1.53E+13	5.03E+13	1.81E+13	5.93E+13	4.70E+13	1.65E+14	1.37E+14	3.69E+13	1.00E+14	2.69E+13	1.83E+13
	2012	5.49E+13	4.18E+13	5.95E+13	na	na	na	1.58E+14	1.27E+14	1.28E+14	7.22E+13	2.19E+13	2.10E+13
	2013	6.34E+13	1.58E+13	4.94E+13	na	na	na	6.85E+13	8.84E+13	1.46E+14	1.18E+14	2.97E+13	2.52E+13
Prom fase 2		2.87E+13	2.08E+13	2.28E+13	2.00E+13	2.60E+13	2.97E+13	5.89E+13	8.38E+13	9.62E+13	7.74E+13	3.99E+13	3.54E+13

Tabla V. 28. Impactos energéticos mensuales por fase.

		lei1	lei2	lei3	lei4	lei5	lei 6	lei7	lei8	lei9	lei10	lei11	lei12
		(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)
FASE 0	1942	3.58E+13	2.47E+13	2.16E+13	1.60E+13	1.77E+13	3.43E+13	7.32E+13	7.49E+13	1.37E+14	1.31E+14	7.28E+13	5.33E+13
	1943	3.97E+13	2.09E+13	1.17E+13	9.68E+12	1.21E+13	1.72E+13	3.58E+13	6.19E+13	1.17E+14	9.31E+13	6.34E+13	5.45E+13
	1944	3.49E+13	1.55E+13	8.56E+12	8.35E+12	1.36E+13	1.44E+13	1.69E+13	7.38E+13	1.19E+14	8.79E+13	5.16E+13	3.92E+13
	1945	3.13E+13	1.30E+13	7.71E+12	7.27E+12	1.94E+13	1.31E+13	5.33E+13	6.30E+13	8.07E+13	9.05E+13	6.29E+13	4.27E+13
	1946	2.83E+13	1.70E+13	1.16E+13	7.73E+12	1.41E+13	1.74E+13	2.90E+13	5.96E+13	1.32E+14	1.13E+14	6.01E+13	5.43E+13
	1947	4.88E+13	2.44E+13	1.27E+13	9.42E+12	1.40E+13	1.29E+13	4.27E+13	1.11E+14	1.19E+14	8.07E+13	3.80E+13	4.75E+13
	1948	4.05E+13	2.74E+13	2.67E+13	2.06E+13	8.82E+12	1.54E+13	4.08E+13	7.31E+13	7.81E+13	7.86E+13	3.72E+13	3.33E+13
	1949	3.17E+13	2.51E+13	1.59E+13	9.23E+12	8.55E+12	1.85E+13	3.73E+13	5.14E+13	4.08E+13	4.36E+13	3.48E+13	2.90E+13
	1950	3.64E+13	2.10E+13	1.46E+13	1.26E+13	1.49E+13	1.86E+13	4.16E+13	7.26E+13	1.06E+14	9.40E+13	5.49E+13	4.53E+13
Ve fase 0		4.88E+13	2.74E+13	2.67E+13	2.06E+13	1.94E+13	3.43E+13	7.32E+13	1.11E+14	1.37E+14	1.31E+14	7.28E+13	5.45E+13
FASE 1	1951	1.89E+13	1.21E+13	2.03E+13	1.61E+13	1.42E+13	1.69E+13	3.29E+13	5.59E+12	2.42E+13	7.29E+13	4.36E+13	4.29E+13
	1952	4.48E+13	2.50E+13	2.52E+13	1.81E+13	1.47E+13	4.18E+12	1.18E+13	2.83E+13	3.58E+12	4.74E+13	2.30E+13	3.19E+13
	1953	3.91E+13	2.48E+13	2.35E+13	1.80E+13	1.59E+13	2.98E+13	4.75E+13	7.80E+13	9.76E+13	9.58E+13	4.82E+13	3.81E+13
	1954	4.37E+13	2.56E+13	2.50E+13	1.98E+13	1.40E+13	2.47E+13	4.92E+13	6.79E+13	8.02E+13	4.05E+13	1.22E+13	2.93E+13
	1955	4.39E+13	2.55E+13	2.45E+13	1.90E+13	1.78E+13	2.54E+13	5.03E+13	5.69E+13	3.20E+13	3.45E+13	2.75E+13	3.53E+13
	1956	4.44E+13	2.55E+13	2.48E+13	1.77E+13	9.04E+12	1.74E+13	5.46E+12	9.60E+12	3.53E+13	1.04E+14	5.78E+13	4.44E+13
	1957	4.68E+13	2.62E+13	2.56E+13	1.91E+13	1.57E+13	2.33E+13	5.03E+13	8.12E+13	1.08E+14	1.16E+14	6.10E+13	4.95E+13
	1958	3.86E+13	2.24E+13	2.19E+13	1.78E+13	1.51E+13	2.19E+13	-1.95E+13	-1.65E+13	-6.58E+13	-7.00E+13	-7.63E+13	-1.76E+13
	1959	1.64E+13	2.07E+13	2.21E+13	1.58E+13	6.07E+12	2.21E+13	7.80E+12	-5.28E+13	3.44E+13	-6.16E+12	8.75E+12	2.97E+13
	1960	3.71E+13	2.06E+13	2.15E+13	1.53E+13	8.94E+12	2.04E+13	3.31E+13	8.04E+13	4.61E+13	9.39E+13	5.90E+13	3.99E+13
	1961	4.14E+13	2.32E+13	2.32E+13	1.75E+13	1.40E+13	2.20E+13	-2.91E+13	7.06E+12	9.33E+13	1.03E+14	5.13E+13	4.35E+13
	1962	4.47E+13	2.57E+13	2.52E+13	1.89E+13	1.33E+13	2.71E+13	4.94E+13	8.93E+13	3.42E+13	5.60E+13	6.03E+13	3.85E+13
	1963	4.38E+13	2.46E+13	2.30E+13	1.48E+13	1.15E+13	2.80E+13	2.52E+13	-1.48E+13	1.89E+13	5.83E+13	4.57E+13	4.42E+13
Prom fase 1		3.87E+13	2.32E+13	2.35E+13	1.75E+13	1.31E+13	2.18E+13	2.42E+13	3.23E+13	4.17E+13	5.74E+13	3.25E+13	3.46E+13

Tabla V. 29. Impactos energéticos mensuales por fase.

		lei1	lei2	lei3	lei4	lei5	lei 6	lei7	lei8	lei9	lei10	lei11	lei12
		(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)
FASE 2	1964	3.38E+13	2.44E+13	2.40E+13	1.77E+13	1.52E+13	1.59E+13	2.21E+13	5.54E+13	8.68E+13	9.30E+13	5.29E+13	4.27E+13
	1965	4.32E+13	2.46E+13	2.38E+13	1.60E+13	9.90E+12	2.46E+13	6.67E+13	5.26E+13	3.70E+13	4.95E+13	5.18E+13	4.03E+13
	1966	4.01E+13	2.47E+13	2.41E+13	9.35E+12	1.07E+13	2.38E+13	4.91E+13	-1.03E+13	4.87E+13	1.04E+14	5.37E+13	4.43E+13
	1967	3.99E+13	1.47E+13	1.48E+13	1.07E+13	5.58E+12	2.05E+13	-1.56E+13	4.66E+12	-3.08E+13	-2.65E+13	6.79E+13	3.40E+13
	1968	3.76E+13	1.74E+13	2.19E+13	1.50E+13	7.41E+12	2.39E+13	-1.43E+13	-3.04E+13	-3.02E+12	8.92E+13	5.53E+13	3.57E+13
	1969	3.43E+13	2.34E+13	2.34E+13	1.71E+13	1.52E+13	2.82E+13	4.79E+13	6.84E+13	-6.12E+13	2.07E+13	4.17E+13	3.11E+13
	1970	4.52E+13	2.35E+13	2.48E+13	1.83E+13	1.64E+13	2.49E+13	4.28E+13	2.94E+13	1.55E+13	7.16E+13	4.77E+13	4.11E+13
	1971	4.52E+13	2.26E+13	2.50E+13	1.47E+13	1.41E+13	2.07E+13	2.52E+13	3.77E+13	5.37E+13	1.23E+12	-6.12E+12	1.71E+13
	1972	3.06E+13	2.03E+13	2.29E+13	1.63E+13	1.30E+13	1.80E+13	4.68E+13	6.05E+13	7.86E+13	8.32E+13	4.23E+13	3.35E+13
	1973	4.07E+13	2.59E+13	2.65E+13	1.99E+13	1.46E+13	2.92E+13	1.20E+13	-2.51E+13	-1.34E+13	1.79E+13	2.26E+13	3.58E+13
	1974	3.70E+13	2.20E+13	2.09E+13	1.31E+13	1.06E+13	1.82E+13	-3.26E+12	3.02E+13	6.44E+13	9.54E+13	5.34E+13	4.22E+13
	1975	4.03E+13	2.42E+13	2.35E+13	1.76E+13	8.69E+12	1.57E+13	4.10E+13	2.76E+13	1.55E+13	6.05E+13	3.06E+13	3.46E+13
	1976	3.97E+13	2.20E+13	2.34E+13	7.35E+12	3.95E+12	2.29E+13	3.56E+13	8.87E+13	6.41E+13	-3.94E+13	3.87E+13	2.59E+13
	1977	3.06E+13	2.49E+13	2.35E+13	1.39E+13	5.15E+12	1.94E+13	3.22E+13	7.38E+13	6.20E+13	9.75E+13	4.85E+13	4.00E+13
	1978	4.31E+13	2.46E+13	2.39E+13	9.30E+12	9.28E+12	2.14E+13	3.33E+13	1.94E+13	4.04E+13	6.62E+12	2.90E+13	2.85E+13
	1979	3.83E+13	2.17E+13	2.08E+13	1.26E+13	1.17E+13	1.53E+13	5.05E+13	4.12E+13	5.29E+13	9.91E+13	5.14E+13	3.63E+13
	1980	3.43E+13	1.77E+13	1.60E+13	8.73E+12	8.92E+12	2.61E+13	5.03E+13	6.84E+13	6.70E+13	7.62E+13	4.20E+13	3.67E+13
	1981	3.19E+13	1.71E+13	1.69E+13	1.09E+13	6.63E+12	1.46E+13	2.09E+13	1.92E+13	2.40E+13	4.23E+13	2.71E+13	1.83E+13
	1982	3.02E+13	1.49E+13	1.76E+13	1.06E+13	6.82E+12	1.82E+13	4.70E+13	7.98E+13	1.15E+14	1.12E+14	5.85E+13	3.76E+13
	1983	3.92E+13	2.34E+13	2.20E+13	1.65E+13	na	na	4.12E+13	6.98E+13	9.38E+13	9.78E+13	4.90E+13	4.15E+13
	1984	3.68E+13	2.27E+13	2.16E+13	1.62E+13	1.38E+13	1.97E+13	4.21E+13	6.91E+13	5.89E+13	7.17E+13	4.37E+13	2.11E+13
	1985	2.15E+13	1.92E+13	1.82E+13	1.27E+13	6.19E+12	1.86E+13	3.11E+13	5.30E+13	5.80E+13	7.58E+13	4.93E+13	4.34E+13
	1986	4.01E+13	2.07E+13	2.16E+13	1.76E+13	-3.08E+11	-1.77E+13	-4.46E+13	3.01E+13	6.76E+13	8.80E+13	4.70E+13	3.87E+13
	1987	3.96E+13	2.08E+13	1.87E+13	1.13E+13	1.65E+12	7.09E+12	4.43E+13	1.03E+13	5.40E+13	1.12E+14	5.39E+13	na
	1988	3.80E+13	1.89E+13	1.65E+13	8.90E+12	3.72E+12	1.89E+13	1.61E+13	1.29E+13	na	na	na	na

Tabla V. 30. Impactos energéticos mensuales por fase.

		lei1	lei2	lei3	lei4	lei5	lei 6	lei7	lei8	lei9	lei10	lei11	lei12
		(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)	(J/mes)
FASE 2	1989	na	na	na	1.56E+13	2.42E+12	1.37E+13	2.59E+13	5.67E+13	8.43E+13	7.99E+13	4.65E+13	na
	1990	2.56E+13	1.16E+13	1.48E+13	8.97E+12	6.37E+12	2.06E+13	5.08E+13	7.99E+13	6.79E+13	6.10E+13	1.68E+13	1.93E+13
	1991	2.71E+13	9.97E+12	1.11E+13	5.89E+12	2.95E+12	1.54E+13	-5.88E+12	3.66E+13	6.92E+13	5.51E+13	2.04E+13	-3.64E+12
	1992	7.99E+12	-1.81E+13	-8.39E+12	-1.19E+13	-2.33E+13	-4.10E+12	3.14E+13	4.06E+13	6.98E+13	6.75E+13	3.15E+13	6.64E+12
	1993	2.16E+13	6.36E+12	1.09E+13	7.29E+12	5.24E+12	2.32E+13	1.43E+13	na	na	na	na	na
	1994	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na
	1995	7.92E+12	-7.75E+12	-4.80E+12	-1.08E+13	-1.85E+13	7.09E+12	-4.94E+12	1.12E+13	4.59E+13	5.52E+13	1.22E+12	-1.88E+13
	1996	-1.82E+13	-2.76E+13	-3.03E+13	-4.12E+13	-4.53E+13	-2.97E+13	-3.55E+12	4.47E+13	6.06E+13	6.83E+13	2.18E+13	-2.64E+12
	1997	-3.77E+11	-1.89E+13	-1.81E+13	-2.87E+13	-3.08E+13	-2.27E+13	1.29E+13	4.17E+13	6.98E+13	6.67E+13	1.44E+13	-1.41E+12
	1998	-6.01E+12	-1.21E+13	-2.11E+13	-2.48E+13	-3.10E+13	-1.92E+13	2.34E+13	5.12E+13	6.09E+13	2.20E+13	-4.94E+12	-2.69E+13
	1999	-1.55E+13	-2.05E+13	-2.42E+13	-2.78E+13	-3.10E+13	-1.81E+13	2.36E+13	6.65E+13	7.39E+13	5.42E+13	-3.13E+12	-2.00E+13
	2000	-5.65E+12	-1.72E+13	-1.44E+13	-1.96E+13	-1.62E+13	-1.28E+13	1.09E+13	4.86E+13	6.73E+13	6.84E+13	3.00E+13	1.41E+13
	2001	1.45E+13	1.85E+12	2.70E+12	-4.63E+12	-3.44E+13	-3.08E+13	-1.38E+13	3.30E+13	3.41E+13	4.76E+13	5.62E+12	-1.01E+13
	2002	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na
	2003	-1.80E+13	-1.57E+13	-1.19E+13	-3.70E+13	-4.09E+13	-3.11E+13	-6.31E+13	-2.47E+13	3.75E+12	-2.45E+13	-1.76E+13	-2.63E+13
	2004	-1.40E+13	-2.32E+13	-2.66E+13	-2.54E+13	-2.15E+13	-1.45E+13	-1.98E+13	1.46E+13	8.14E+13	3.78E+13	2.61E+13	-2.71E+13
	2005	-1.63E+13	-3.03E+13	-3.70E+13	-4.17E+13	-4.64E+13	-3.50E+13	-1.15E+13	-5.30E+12	-4.08E+13	-3.52E+13	-4.28E+13	-6.45E+13
	2006	-4.82E+13	-6.30E+13	-6.78E+13	-8.06E+13	-9.20E+13	-1.10E+14	7.32E+13	-6.74E+13	-1.11E+14	na	na	na
	2010	2.75E+13	-2.87E+13	-5.81E+13	-2.74E+12	-4.29E+13	4.00E+12	-4.66E+13	-1.46E+14	-3.62E+13	4.03E+13	4.58E+13	2.85E+13
	2011	-1.82E+13	1.21E+13	-2.36E+13	2.56E+12	-3.99E+13	-1.27E+13	-9.15E+13	-2.63E+13	1.00E+14	3.09E+13	4.59E+13	3.62E+13
	2012	-6.06E+12	-1.45E+13	-3.28E+13	na	na	na	-8.44E+13	-1.64E+13	8.58E+12	5.92E+13	5.09E+13	3.35E+13
	2013	-1.46E+13	1.16E+13	-2.27E+13	na	na	na	4.77E+12	2.26E+13	-8.78E+12	1.30E+13	4.31E+13	2.93E+13
Prom fase 2		2.01E+13	6.64E+12	3.95E+12	5.94E+11	-6.62E+12	4.57E+12	1.44E+13	2.72E+13	4.07E+13	5.40E+13	3.29E+13	1.92E+13

Tabla V. 31. Valor económico mensual del caudal mínimo por fase.

		Ve1	Ve2	Ve3	Ve4	Ve5	Ve6	Ve7	Ve8	Ve9	Ve10	Ve11	Ve12
		(USD\$/mes)	(USD\$/mes)	(USD\$/mes)	(USD\$/mes)	(USD\$/mes)	(USD\$/mes)	(USD\$/mes)	(USD\$/mes)	(USD\$/mes)	(USD\$/mes)	(USD\$/mes)	(USD\$/mes)
FASE 0	1942	7,015,254	4,849,707	4,236,108	3,146,732	3,472,745	6,728,943	14,360,551	14,694,567	26,838,255	25,748,319	14,281,959	10,456,119
	1943	7,778,731	4,102,880	2,295,478	1,897,907	2,377,176	3,375,724	7,023,006	12,136,519	23,019,936	18,255,669	12,422,692	10,689,542
	1944	6,834,358	3,045,635	1,678,351	1,637,851	2,661,404	2,818,104	3,315,127	14,480,105	23,400,017	17,231,945	10,117,796	7,685,901
	1945	6,147,068	2,556,196	1,511,574	1,425,306	3,803,482	2,565,550	10,449,241	12,353,565	15,828,394	17,740,971	12,327,643	8,367,720
	1946	5,539,855	3,335,048	2,271,974	1,515,325	2,769,927	3,420,733	5,692,304	11,676,587	25,785,529	22,099,347	11,776,232	10,648,770
	1947	9,568,135	4,786,693	2,488,569	1,847,896	2,754,424	2,523,041	8,369,211	21,764,083	23,320,000	15,819,194	7,444,096	9,314,914
	1948	7,945,454	5,371,152	5,240,124	4,044,356	1,728,621	3,010,646	7,999,715	14,325,072	15,323,286	15,418,056	7,297,749	6,538,370
	1949	6,224,585	4,912,720	3,109,367	1,810,388	1,676,943	3,625,777	7,322,737	10,082,329	8,009,217	8,539,748	6,826,464	5,692,304
	1950	7,131,680	4,120,004	2,853,943	2,472,146	2,923,812	3,651,338	8,162,423	14,231,477	20,709,440	18,435,504	10,762,342	8,888,052
Prom fase 0		7,131,680	4,120,004	2,853,943	2,199,767	2,685,393	3,524,429	8,077,146	13,971,589	20,248,230	17,698,750	10,361,886	8,697,966
FASE 1	1951	3,699,037	2,364,600	3,985,866	3,155,635	2,776,611	3,307,158	6,455,349	1,097,059	4,747,460	14,297,939	8,558,068	8,412,631
	1952	8,780,791	4,894,347	4,939,519	3,552,414	2,886,054	820,007	2,311,707	5,542,261	702,478	9,285,316	4,509,693	6,253,345
	1953	7,661,978	4,861,866	4,616,919	3,538,224	3,124,067	5,841,996	9,322,712	15,292,186	19,137,319	18,782,827	9,450,491	7,468,720
	1954	8,571,551	5,016,982	4,907,748	3,876,433	2,753,521	4,850,153	9,641,446	13,316,426	15,727,472	7,949,571	2,398,510	5,752,262
	1955	8,608,608	4,992,858	4,809,990	3,729,797	3,490,658	4,981,068	9,859,408	11,162,378	6,283,831	6,759,314	5,395,999	6,914,473
	1956	8,698,823	4,993,534	4,856,425	3,462,540	1,773,461	3,414,110	1,069,934	1,881,969	6,927,355	20,319,560	11,337,206	8,705,312
	1957	9,176,116	5,143,436	5,025,057	3,741,623	3,070,300	4,562,747	9,861,239	15,926,316	21,083,780	22,737,211	11,968,230	9,701,191
	1958	7,560,616	4,400,011	4,298,844	3,488,557	2,956,153	4,293,573	-3,824,703	-3,232,299	-12,902,627	-13,720,292	-14,951,670	-3,452,890
	1959	3,207,668	4,055,108	4,340,439	3,097,714	1,189,661	4,339,469	1,530,027	-10,360,329	6,751,255	-1,208,319	1,715,377	5,823,010
	1960	7,273,970	4,045,053	4,221,500	3,003,577	1,753,868	4,002,781	6,494,592	15,758,525	9,033,848	18,404,306	11,564,535	7,817,332
	1961	8,115,626	4,553,460	4,558,484	3,431,794	2,738,568	4,313,061	-5,714,062	1,384,571	18,298,547	20,179,596	10,063,183	8,536,790
	1962	8,756,730	5,035,622	4,932,187	3,703,781	2,599,253	5,318,501	9,683,547	17,510,838	6,714,522	10,983,811	11,817,392	7,547,373
	1963	8,591,509	4,819,294	4,504,498	2,909,194	2,258,391	5,496,256	4,950,077	-2,899,082	3,703,333	11,440,806	8,957,766	8,671,591
Prom fase 1		7,592,540	4,552,013	4,615,190	3,437,791	2,566,967	4,272,375	4,741,636	6,336,986	8,169,890	11,247,050	6,368,060	6,780,857

Tabla V. 32. Valor económico mensual del caudal mínimo por fase.

		Ve1	Ve2	Ve3	Ve4	Ve5	Ve6	Ve7	Ve8	Ve9	Ve10	Ve11	Ve12
		(USD\$/mes)	(USD\$/mes)	(USD\$/mes)	(USD\$/mes)	(USD\$/mes)	(USD\$/mes)	(USD\$/mes)	(USD\$/mes)	(USD\$/mes)	(USD\$/mes)	(USD\$/mes)	(USD\$/mes)
FASE 2	1964	6,627,946	4,790,103	4,700,013	3,464,906	2,974,987	3,113,429	4,337,912	10,855,337	17,018,901	18,237,416	10,367,650	8,364,781
	1965	8,469,473	4,823,709	4,673,130	3,129,061	1,941,005	4,816,520	13,069,128	10,315,354	7,247,012	9,699,336	10,149,025	7,909,773
	1966	7,866,082	4,849,901	4,731,784	1,833,283	2,101,429	4,674,199	9,622,403	-2,027,663	9,555,217	20,340,717	10,529,336	8,687,752
	1967	7,830,126	2,880,773	2,902,642	2,094,849	1,093,916	4,029,265	-3,064,279	913,018	-6,040,420	-5,204,927	13,309,396	6,669,935
	1968	7,379,415	3,406,034	4,292,487	2,946,948	1,453,300	4,694,628	-2,800,506	-5,965,075	-591,542	17,493,856	10,852,203	7,006,061
	1969	6,729,810	4,592,735	4,590,036	3,356,111	2,982,319	5,529,836	9,400,841	13,409,137	-12,003,781	4,065,675	8,169,563	6,094,161
	1970	8,853,566	4,607,381	4,853,981	3,583,161	3,216,937	4,882,598	8,398,507	5,773,961	3,032,154	14,039,849	9,343,276	8,050,398
	1971	8,872,208	4,432,994	4,900,416	2,887,820	2,769,696	4,057,137	4,933,221	7,388,604	10,530,985	241,448	-1,199,794	3,355,676
	1972	6,007,209	3,973,648	4,489,834	3,197,649	2,552,185	3,526,746	9,183,445	11,866,199	15,409,257	16,320,703	8,296,642	6,571,839
	1973	7,982,018	5,082,995	5,189,267	3,895,354	2,872,341	5,728,504	2,351,341	-4,929,369	-2,622,398	3,504,322	4,426,484	7,017,426
	1974	7,261,230	4,307,907	4,089,028	2,577,992	2,075,617	3,566,222	-638,508	5,920,092	12,635,604	18,708,189	10,473,736	8,274,109
	1975	7,903,812	4,754,175	4,599,811	3,441,254	1,704,138	3,085,842	8,045,682	5,413,363	3,045,762	11,857,433	6,005,318	6,780,304
	1976	7,776,727	4,308,557	4,592,480	1,441,252	775,103	4,484,460	6,975,663	17,389,461	12,560,034	-7,731,290	7,583,732	5,071,794
	1977	5,999,433	4,872,956	4,614,475	2,729,359	1,010,059	3,795,493	6,316,486	14,474,519	12,152,169	19,116,820	9,501,081	7,837,465
	1978	8,448,811	4,823,709	4,678,017	1,823,524	1,819,003	4,205,378	6,538,421	3,802,740	7,923,478	1,298,826	5,687,548	5,596,033
	1979	7,501,075	4,259,512	4,086,340	2,472,201	2,302,806	3,007,595	9,899,836	8,078,798	10,375,457	19,424,813	10,087,563	7,119,215
	1980	6,723,389	3,464,797	3,128,560	1,712,364	1,748,129	5,125,403	9,860,804	13,406,523	13,146,558	14,946,382	8,230,219	7,189,821
	1981	6,254,153	3,346,939	3,304,523	2,130,988	1,300,888	2,871,546	4,093,032	3,762,958	4,701,262	8,289,978	5,311,946	3,584,675
	1982	5,919,333	2,916,490	3,448,716	2,083,685	1,337,547	3,571,531	9,216,508	15,643,307	22,537,817	22,031,087	11,462,756	7,375,560
	1983	7,691,189	4,578,685	4,316,314	3,242,586	na	na	8,084,292	13,681,657	18,398,912	19,167,155	9,601,445	8,142,957
	1984	7,214,621	4,446,239	4,230,777	3,176,363	2,701,265	3,862,438	8,246,635	13,557,181	11,549,464	14,062,824	8,577,777	4,144,107
	1985	4,216,042	3,762,601	3,575,801	2,483,388	1,212,906	3,651,944	6,097,181	10,383,687	11,378,991	14,857,618	9,675,158	8,514,436
	1986	7,867,153	4,053,316	4,230,777	3,441,254	-60,386	-3,474,598	-8,751,190	5,909,434	13,253,965	17,254,972	9,219,614	7,586,750
	1987	7,757,187	4,079,806	3,668,670	2,206,671	323,312	1,391,101	8,676,822	2,029,040	10,585,445	21,920,093	10,564,017	na
	1988	7,449,093	3,715,580	3,243,425	1,745,476	729,006	3,701,611	3,151,930	2,532,448	na	na	na	na

Tabla V. 33. Valor económico mensual del caudal mínimo por fase.

		Ve1	Ve2	Ve3	Ve4	Ve5	Ve6	Ve7	Ve8	Ve9	Ve10	Ve11	Ve12
		(USD\$/mes)	(USD\$/mes)	(USD\$/mes)	(USD\$/mes)	(USD\$/mes)	(USD\$/mes)	(USD\$/mes)	(USD\$/mes)	(USD\$/mes)	(USD\$/mes)	(USD\$/mes)	(USD\$/mes)
FASE 2	1989	na	na	na	3,053,378	474,837	2,694,077	5,076,499	11,123,474	16,538,390	15,660,668	9,115,803	na
	1990	5,010,188	2,279,454	2,898,829	1,759,666	1,249,565	4,035,091	9,966,348	15,670,756	13,317,238	11,954,891	3,287,654	3,781,559
	1991	5,320,568	1,954,051	2,172,979	1,154,200	577,482	3,022,827	-1,152,752	7,178,402	13,560,764	10,803,474	4,002,640	-712,764
	1992	1,567,287	-3,552,149	-1,644,455	-2,335,570	-4,566,870	-803,763	6,152,988	7,951,994	13,694,267	13,243,688	6,171,616	1,301,119
	1993	4,230,571	1,247,674	2,133,876	1,428,552	1,027,167	4,553,048	2,794,889	na	na	na	na	na
	1994	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na
	1995	1,553,500	-1,519,747	-941,357	-2,119,869	-3,621,413	1,389,865	-968,170	2,203,988	8,990,618	10,818,037	238,239	-3,690,548
	1996	-3,575,845	-5,411,919	-5,935,371	-8,086,766	-8,880,999	-5,822,825	-696,120	8,766,405	11,875,195	13,395,716	4,275,302	-517,606
	1997	-73,999	-3,700,536	-3,545,584	-5,632,999	-6,039,813	-4,448,339	2,527,106	8,170,520	13,676,842	13,073,728	2,825,587	-275,701
	1998	-1,178,043	-2,376,255	-4,142,372	-4,861,011	-6,070,354	-3,762,030	4,593,691	10,032,158	11,941,717	4,317,256	-968,734	-5,266,711
	1999	-3,042,744	-4,021,117	-4,735,983	-5,458,554	-6,075,131	-3,553,805	4,623,255	13,033,529	14,492,370	10,626,327	-613,411	-3,925,923
	2000	-1,107,948	-3,381,881	-2,828,685	-3,842,714	-3,184,059	-2,502,120	2,145,452	9,531,232	13,187,264	13,417,743	5,882,156	2,765,464
	2001	2,836,328	362,980	528,526	-908,170	-6,745,541	-6,046,701	-2,696,993	6,477,817	6,687,063	9,331,880	1,101,156	-1,990,032
	2002	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na
	2003	-3,521,078	-3,082,726	-2,340,977	-7,251,423	-8,021,173	-6,095,625	-12,376,202	-4,848,307	736,202	-4,809,660	-3,452,304	-5,147,176
	2004	-2,751,946	-4,540,493	-5,225,190	-4,988,544	-4,212,175	-2,840,865	-3,886,112	2,871,157	15,965,574	7,410,986	5,120,980	-5,321,413
	2005	-3,189,053	-5,945,060	-7,262,390	-8,172,454	-9,096,469	-6,866,243	-2,250,086	-1,039,318	-7,998,229	-6,900,574	-8,398,235	-12,647,333
	2006	-9,451,473	-12,348,044	-13,297,041	-15,795,064	-18,040,937	-21,497,260	14,360,551	-13,206,997	-21,722,518	na	na	na
	2010	5,387,562	-5,631,651	-11,393,933	-538,142	-8,407,347	785,101	-9,143,203	-28,640,746	-7,096,460	7,897,768	8,985,200	5,586,591
	2011	-3,558,953	2,378,030	-4,619,308	502,311	-7,824,583	-2,495,849	-17,944,095	-5,156,058	19,602,264	6,060,234	9,002,590	7,096,868
	2012	-1,188,384	-2,834,587	-6,424,516	na	na	na	-16,543,708	-3,209,100	1,681,477	11,599,433	9,988,181	6,572,083
	2013	-2,870,971	2,280,728	-4,448,956	na	na	na	935,629	4,438,592	-1,720,810	2,549,400	8,456,695	5,750,672
Prom fase 2		3,931,742	1,302,007	774,532	116,380	-1,298,102	896,272	2,816,991	5,339,414	7,981,152	10,580,816	6,458,257	3,757,604

Tabla V. 34. Valor económico mensual de descarga local por fase.

		Ve _{dli1}	Ve _{dli2}	Ve _{dli3}	Ve _{dli4}	Ve _{dli5}	Ve _{dli6}	Ve _{dli7}	Ve _{dli8}	Ve _{dli9}	Ve _{dli10}	Ve _{dli11}	Ve _{dli12}
		(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)
FASE 0	1942	53,427	48,257	53,427	51,704	53,427	51,704	53,427	53,427	51,704	53,427	51,704	53,427
	1943	54,455	49,185	54,455	52,699	54,455	52,699	54,455	54,455	52,699	54,455	52,699	54,455
	1944	55,483	50,114	55,483	53,693	55,483	53,693	55,483	55,483	53,693	55,483	53,693	55,483
	1945	56,511	51,042	56,511	54,688	56,511	54,688	56,511	56,511	54,688	56,511	54,688	56,511
	1946	57,538	51,970	57,538	55,682	57,538	55,682	57,538	57,538	55,682	57,538	55,682	57,538
	1947	58,566	52,899	58,566	56,677	58,566	56,677	58,566	58,566	56,677	58,566	56,677	58,566
	1948	59,594	53,827	59,594	57,672	59,594	57,672	59,594	59,594	57,672	59,594	57,672	59,594
	1949	60,622	54,755	60,622	58,666	60,622	58,666	60,622	60,622	58,666	60,622	58,666	60,622
	1950	61,649	55,683	61,649	59,661	61,649	59,661	61,649	61,649	59,661	61,649	59,661	61,649
Prom fase 0		57,538	51,970	57,538	55,682	57,538	55,682	57,538	57,538	55,682	57,538	55,682	57,538
FASE 1	1951	63,084	56,979	63,084	61,049	63,084	61,049	63,084	63,084	61,049	63,084	61,049	63,084
	1952	64,518	58,274	64,518	62,437	64,518	62,437	64,518	64,518	62,437	64,518	62,437	64,518
	1953	65,952	59,570	65,952	63,825	65,952	63,825	65,952	65,952	63,825	65,952	63,825	65,952
	1954	67,386	60,865	67,386	65,212	67,386	65,212	67,386	67,386	65,212	67,386	65,212	67,386
	1955	68,820	62,160	68,820	66,600	68,820	66,600	68,820	68,820	66,600	68,820	66,600	68,820
	1956	70,255	63,456	70,255	67,988	70,255	67,988	70,255	70,255	67,988	70,255	67,988	70,255
	1957	71,689	64,751	71,689	69,376	71,689	69,376	71,689	71,689	69,376	71,689	69,376	71,689
	1958	73,123	66,047	73,123	70,764	73,123	70,764	73,123	73,123	70,764	73,123	70,764	73,123
	1959	74,557	67,342	74,557	72,152	74,557	72,152	74,557	74,557	72,152	74,557	72,152	74,557
	1960	75,991	68,637	75,991	73,540	75,991	73,540	75,991	75,991	73,540	75,991	73,540	75,991
	1961	80,380	72,601	80,380	77,787	80,380	77,787	80,380	80,380	77,787	80,380	77,787	80,380
	1962	84,769	76,565	84,769	82,034	84,769	82,034	84,769	84,769	82,034	84,769	82,034	84,769
	1963	89,158	80,529	89,158	86,282	89,158	86,282	89,158	89,158	86,282	89,158	86,282	89,158
Prom fase 1		73,052	65,983	73,052	70,696	73,052	70,696	73,052	73,052	70,696	73,052	70,696	73,052

Tabla V. 35. Valor económico mensual de descarga local por fase.

		Ve_{dli}i1	Ve_{dli}i2	Ve_{dli}i3	Ve_{dli}i4	Ve_{dli}i5	Ve_{dli}i6	Ve_{dli}i7	Ve_{dli}i8	Ve_{dli}i9	Ve_{dli}i10	Ve_{dli}i11	Ve_{dli}i12
		(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)
FASE 2	1964	93,546	84,493	93,546	90,529	93,546	90,529	93,546	93,546	90,529	93,546	90,529	93,546
	1965	97,935	88,457	97,935	94,776	97,935	94,776	97,935	97,935	94,776	97,935	94,776	97,935
	1966	102,324	92,421	102,324	99,023	102,324	99,023	102,324	102,324	99,023	102,324	99,023	102,324
	1967	106,712	96,385	106,712	103,270	106,712	103,270	106,712	106,712	103,270	106,712	103,270	106,712
	1968	111,101	100,349	111,101	107,517	111,101	107,517	111,101	111,101	107,517	111,101	107,517	111,101
	1969	115,490	104,313	115,490	111,764	115,490	111,764	115,490	115,490	111,764	115,490	111,764	115,490
	1970	119,879	108,277	119,879	116,012	119,879	116,012	119,879	119,879	116,012	119,879	116,012	119,879
	1971	139,673	126,156	139,673	135,168	139,673	135,168	139,673	139,673	135,168	139,673	135,168	139,673
	1972	159,468	144,035	159,468	154,324	159,468	154,324	159,468	159,468	154,324	159,468	154,324	159,468
	1973	179,262	161,914	179,262	173,479	179,262	173,479	179,262	179,262	173,479	179,262	173,479	179,262
	1974	199,057	179,793	199,057	192,635	199,057	192,635	199,057	199,057	192,635	199,057	192,635	199,057
	1975	218,851	197,672	218,851	211,791	218,851	211,791	218,851	218,851	211,791	218,851	211,791	218,851
	1976	238,646	215,551	238,646	230,947	238,646	230,947	238,646	238,646	230,947	238,646	230,947	238,646
	1977	258,440	233,430	258,440	250,103	258,440	250,103	258,440	258,440	250,103	258,440	250,103	258,440
	1978	278,235	251,309	278,235	269,259	278,235	269,259	278,235	278,235	269,259	278,235	269,259	278,235
	1979	298,029	269,188	298,029	288,415	298,029	288,415	298,029	298,029	288,415	298,029	288,415	298,029
	1980	317,824	287,066	317,824	307,571	317,824	307,571	317,824	317,824	307,571	317,824	307,571	317,824
	1981	329,261	297,397	329,261	318,639	329,261	318,639	329,261	329,261	318,639	329,261	318,639	329,261
	1982	340,698	307,727	340,698	329,708	340,698	329,708	340,698	340,698	329,708	340,698	329,708	340,698
	1983	352,135	318,058	352,135	340,776	352,135	340,776	352,135	352,135	340,776	352,135	340,776	352,135
	1984	363,572	328,388	363,572	351,844	363,572	351,844	363,572	363,572	351,844	363,572	351,844	363,572
	1985	375,010	338,718	375,010	362,913	375,010	362,913	375,010	375,010	362,913	375,010	362,913	375,010
	1986	386,447	349,049	386,447	373,981	386,447	373,981	386,447	386,447	373,981	386,447	373,981	386,447
	1987	397,884	359,379	397,884	385,049	397,884	385,049	397,884	397,884	385,049	397,884	385,049	397,884
	1988	409,321	369,710	409,321	396,118	409,321	396,118	409,321	409,321	396,118	409,321	396,118	409,321

Tabla V. 36. Valor económico mensual de descarga local por fase.

		Ve _{di} i1	Ve _{di} i2	Ve _{di} i3	Ve _{di} i4	Ve _{di} i5	Ve _{di} i6	Ve _{di} i7	Ve _{di} i8	Ve _{di} i9	Ve _{di} i10	Ve _{di} i11	Ve _{di} i12
		(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)
FASE 2	1989	420,759	380,040	420,759	407,186	420,759	407,186	420,759	420,759	407,186	420,759	407,186	420,759
	1990	432,196	390,371	432,196	418,254	432,196	418,254	432,196	432,196	418,254	432,196	418,254	432,196
	1991	449,958	406,414	449,958	435,444	449,958	435,444	449,958	449,958	435,444	449,958	435,444	449,958
	1992	467,721	422,457	467,721	452,633	467,721	452,633	467,721	467,721	452,633	467,721	452,633	467,721
	1993	485,483	438,501	485,483	469,822	485,483	469,822	485,483	485,483	469,822	485,483	469,822	485,483
	1994	503,245	454,544	503,245	487,012	503,245	487,012	503,245	503,245	487,012	503,245	487,012	503,245
	1995	521,008	470,588	521,008	504,201	521,008	504,201	521,008	521,008	504,201	521,008	504,201	521,008
	1996	555,187	501,459	555,187	537,278	555,187	537,278	555,187	555,187	537,278	555,187	537,278	555,187
	1997	589,366	532,331	589,366	570,354	589,366	570,354	589,366	589,366	570,354	589,366	570,354	589,366
	1998	623,546	563,202	623,546	603,431	623,546	603,431	623,546	623,546	603,431	623,546	603,431	623,546
	1999	657,725	594,074	657,725	636,508	657,725	636,508	657,725	657,725	636,508	657,725	636,508	657,725
	2000	691,904	624,945	691,904	669,584	691,904	669,584	691,904	691,904	669,584	691,904	669,584	691,904
	2001	706,335	637,980	706,335	683,550	706,335	683,550	706,335	706,335	683,550	706,335	683,550	706,335
	2002	720,767	651,015	720,767	697,516	720,767	697,516	720,767	720,767	697,516	720,767	697,516	720,767
	2003	735,198	664,050	735,198	711,482	735,198	711,482	735,198	735,198	711,482	735,198	711,482	735,198
	2004	749,630	677,085	749,630	725,448	749,630	725,448	749,630	749,630	725,448	749,630	725,448	749,630
	2005	764,061	690,120	764,061	739,414	764,061	739,414	764,061	764,061	739,414	764,061	739,414	764,061
	2006	783,066	707,285	783,066	757,806	783,066	757,806	783,066	783,066	757,806	783,066	757,806	783,066
	2010	859,084	775,947	859,084	831,372	859,084	831,372	859,084	859,084	831,372	859,084	831,372	859,084
	2011	873,314	788,800	873,314	845,142	873,314	845,142	873,314	873,314	845,142	873,314	845,142	873,314
	2012	887,544	801,652	887,544	858,913	887,544	858,913	887,544	887,544	858,913	887,544	858,913	887,544
	2013	901,773	814,505	901,773	872,684	901,773	872,684	901,773	901,773	872,684	901,773	872,684	901,773
Prom fase 2		456,618	412,429	456,618	441,888	456,618	441,888	456,618	456,618	441,888	456,618	441,888	456,618

Tabla V. 37. Valor económico total mensual del caudal mínimo por fase.

		Veti1	Veti2	Veti3	Veti4	Veti5	Veti6	Veti7	Veti8	Veti9	Veti10	Veti11	Veti12
		(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)
FASE 0	1942	7,068,682	4,897,964	4,289,536	3,198,436	3,526,172	6,780,647	14,413,979	14,747,995	26,889,959	25,801,746	14,333,663	10,509,546
	1943	7,833,186	4,152,065	2,349,933	1,950,606	2,431,632	3,428,422	7,077,461	12,190,974	23,072,635	18,310,124	12,475,391	10,743,997
	1944	6,889,841	3,095,748	1,733,834	1,691,544	2,716,887	2,871,797	3,370,610	14,535,588	23,453,711	17,287,428	10,171,489	7,741,384
	1945	6,203,579	2,607,238	1,568,085	1,479,993	3,859,993	2,620,238	10,505,751	12,410,076	15,883,082	17,797,481	12,382,331	8,424,231
	1946	5,597,393	3,387,019	2,329,512	1,571,007	2,827,466	3,476,416	5,749,842	11,734,125	25,841,211	22,156,886	11,831,914	10,706,309
	1947	9,626,701	4,839,592	2,547,135	1,904,573	2,812,990	2,579,718	8,427,777	21,822,649	23,376,677	15,877,760	7,500,773	9,373,480
	1948	8,005,048	5,424,978	5,299,718	4,102,027	1,788,215	3,068,317	8,059,309	14,384,666	15,380,957	15,477,650	7,355,420	6,597,964
	1949	6,285,206	4,967,475	3,169,989	1,869,054	1,737,565	3,684,444	7,383,358	10,142,950	8,067,883	8,600,369	6,885,130	5,752,926
	1950	7,193,329	4,175,687	2,915,592	2,531,807	2,985,462	3,710,999	8,224,072	14,293,127	20,769,101	18,497,154	10,822,003	8,949,702
Prom fase 0		7,189,218	4,171,974	2,911,481	2,255,450	2,742,931	3,580,111	8,134,685	14,029,128	20,303,913	17,756,289	10,417,568	8,755,504
FASE 1	1951	3,762,121	2,421,579	4,048,949	3,216,684	2,839,695	3,368,207	6,518,432	1,160,143	4,808,509	14,361,022	8,619,117	8,475,715
	1952	8,845,309	4,952,621	5,004,037	3,614,851	2,950,572	882,443	2,376,225	5,606,779	764,915	9,349,833	4,572,129	6,317,863
	1953	7,727,930	4,921,436	4,682,871	3,602,048	3,190,019	5,905,821	9,388,664	15,358,138	19,201,143	18,848,779	9,514,316	7,534,672
	1954	8,638,938	5,077,847	4,975,134	3,941,646	2,820,907	4,915,365	9,708,832	13,383,812	15,792,684	8,016,957	2,463,723	5,819,648
	1955	8,677,428	5,055,018	4,878,811	3,796,397	3,559,478	5,047,669	9,928,229	11,231,199	6,350,432	6,828,134	5,462,600	6,983,294
	1956	8,769,078	5,056,990	4,926,680	3,530,529	1,843,715	3,482,098	1,140,188	1,952,223	6,995,343	20,389,815	11,405,195	8,775,567
	1957	9,247,805	5,208,187	5,096,746	3,810,999	3,141,989	4,632,123	9,932,928	15,998,005	21,153,156	22,808,900	12,037,607	9,772,879
	1958	7,633,739	4,466,058	4,371,967	3,559,321	3,029,276	4,364,338	-3,751,580	-3,159,176	-12,831,863	-13,647,169	-14,880,906	-3,379,767
	1959	3,282,226	4,122,450	4,414,996	3,169,866	1,264,218	4,411,622	1,604,585	-10,285,772	6,823,407	-1,133,761	1,787,529	5,897,567
	1960	7,349,962	4,113,690	4,297,491	3,077,117	1,829,860	4,076,321	6,570,584	15,834,516	9,107,388	18,480,297	11,638,075	7,893,323
	1961	8,196,007	4,626,062	4,638,864	3,509,581	2,818,948	4,390,848	-5,633,682	1,464,951	18,376,334	20,259,976	10,140,970	8,617,170
	1962	8,841,499	5,112,188	5,016,956	3,785,815	2,684,022	5,400,535	9,768,316	17,595,607	6,796,557	11,068,580	11,899,426	7,632,141
	1963	8,680,666	4,899,824	4,593,655	2,995,475	2,347,548	5,582,538	5,039,234	-2,809,924	3,789,614	11,529,963	9,044,047	8,760,749
Prom fase 1		7,665,593	4,617,996	4,688,243	3,508,487	2,640,019	4,343,071	4,814,689	6,410,039	8,240,586	11,320,102	6,438,756	6,853,909

Tabla V. 38. Valor económico total mensual del caudal mínimo por fase.

		Veti1	Veti2	Veti3	Veti4	Veti5	Veti6	Veti7	Veti8	Veti9	Veti10	Veti11	Veti12
		(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)
FASE 2	1964	6,721,492	4,874,596	4,793,559	3,555,434	3,068,533	3,203,958	4,431,458	10,948,883	17,109,429	18,330,963	10,458,179	8,458,327
	1965	8,567,408	4,912,167	4,771,065	3,223,837	2,038,940	4,911,296	13,167,063	10,413,289	7,341,788	9,797,271	10,243,801	8,007,708
	1966	7,968,406	4,942,322	4,834,108	1,932,306	2,203,753	4,773,222	9,724,727	-1,925,339	9,654,240	20,443,040	10,628,359	8,790,076
	1967	7,936,839	2,977,159	3,009,354	2,198,119	1,200,628	4,132,535	-2,957,566	1,019,731	-5,937,150	-5,098,215	13,412,666	6,776,648
	1968	7,490,517	3,506,384	4,403,589	3,054,465	1,564,401	4,802,145	-2,689,404	-5,853,973	-484,025	17,604,957	10,959,720	7,117,162
	1969	6,845,300	4,697,049	4,705,526	3,467,875	3,097,808	5,641,600	9,516,331	13,524,627	-11,892,016	4,181,165	8,281,327	6,209,651
	1970	8,973,445	4,715,659	4,973,860	3,699,172	3,336,815	4,998,609	8,518,385	5,893,840	3,148,166	14,159,728	9,459,287	8,170,276
	1971	9,011,881	4,559,151	5,040,089	3,022,988	2,909,369	4,192,304	5,072,894	7,528,277	10,666,153	381,121	-1,064,627	3,495,349
	1972	6,166,677	4,117,683	4,649,302	3,351,972	2,711,653	3,681,070	9,342,913	12,025,666	15,563,581	16,480,170	8,450,965	6,731,306
	1973	8,161,280	5,244,909	5,368,529	4,068,834	3,051,603	5,901,984	2,530,603	-4,750,107	-2,448,918	3,683,584	4,599,964	7,196,688
	1974	7,460,286	4,487,700	4,288,085	2,770,627	2,274,674	3,758,858	-439,451	6,119,149	12,828,239	18,907,245	10,666,371	8,473,165
	1975	8,122,663	4,951,847	4,818,663	3,653,046	1,922,989	3,297,634	8,264,533	5,632,214	3,257,553	12,076,285	6,217,109	6,999,155
	1976	8,015,373	4,524,108	4,831,125	1,672,199	1,013,749	4,715,408	7,214,309	17,628,106	12,790,981	-7,492,644	7,814,679	5,310,440
	1977	6,257,873	5,106,386	4,872,915	2,979,462	1,268,499	4,045,596	6,574,926	14,732,959	12,402,272	19,375,261	9,751,184	8,095,905
	1978	8,727,045	5,075,018	4,956,252	2,092,783	2,097,238	4,474,637	6,816,655	4,080,974	8,192,738	1,577,061	5,956,808	5,874,267
	1979	7,799,104	4,528,700	4,384,369	2,760,616	2,600,835	3,296,010	10,197,865	8,376,827	10,663,872	19,722,843	10,375,978	7,417,244
	1980	7,041,213	3,751,864	3,446,383	2,019,936	2,065,953	5,432,974	10,178,628	13,724,346	13,454,129	15,264,205	8,537,790	7,507,644
	1981	6,583,414	3,644,336	3,633,784	2,449,627	1,630,149	3,190,186	4,422,293	4,092,219	5,019,902	8,619,238	5,630,585	3,913,935
	1982	6,260,031	3,224,218	3,789,414	2,413,393	1,678,245	3,901,238	9,557,206	15,984,005	22,867,524	22,371,785	11,792,464	7,716,258
	1983	8,043,325	4,896,742	4,668,450	3,583,362	na	na	8,436,427	14,033,792	18,739,688	19,519,290	9,942,221	8,495,092
	1984	7,578,194	4,774,627	4,594,349	3,528,207	3,064,838	4,214,283	8,610,208	13,920,754	11,901,309	14,426,396	8,929,621	4,507,680
	1985	4,591,052	4,101,320	3,950,810	2,846,300	1,587,916	4,014,857	6,472,191	10,758,697	11,741,904	15,232,628	10,038,071	8,889,446
	1986	8,253,600	4,402,365	4,617,224	3,815,235	326,061	-3,100,617	-8,364,743	6,295,881	13,627,946	17,641,418	9,593,595	7,973,197
	1987	8,155,071	4,439,185	4,066,555	2,591,720	721,196	1,776,150	9,074,707	2,426,924	10,970,494	22,317,977	10,949,067	na
	1988	7,858,415	4,085,289	3,652,746	2,141,593	1,138,328	4,097,729	3,561,251	2,941,770	na	na	na	na

Tabla V. 39. Valor económico mensual del caudal mínimo por fase.

		Veti1	Veti2	Veti3	Veti4	Veti5	Veti6	Veti7	Veti8	Veti9	Veti10	Veti11	Veti12
		(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)	(USD/mes)
FASE 2	1989	na	na	na	3,460,563	895,595	3,101,263	5,497,258	11,544,233	16,945,576	16,081,426	9,522,988	na
	1990	5,442,384	2,669,825	3,331,025	2,177,921	1,681,761	4,453,345	10,398,544	16,102,952	13,735,492	12,387,087	3,705,908	4,213,755
	1991	5,770,526	2,360,465	2,622,938	1,589,644	1,027,440	3,458,270	-702,794	7,628,360	13,996,208	11,253,433	4,438,084	-262,805
	1992	2,035,008	-3,129,692	-1,176,735	-1,882,937	-4,099,149	-351,130	6,620,708	8,419,715	14,146,899	13,711,409	6,624,249	1,768,840
	1993	4,716,054	1,686,175	2,619,359	1,898,374	1,512,650	5,022,871	3,280,372	na	na	na	na	na
	1994	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na
	1995	2,074,508	-1,049,159	-420,349	-1,615,668	-3,100,405	1,894,066	-447,162	2,724,996	9,494,819	11,339,045	742,440	-3,169,540
	1996	-3,020,658	-4,910,459	-5,380,184	-7,549,488	-8,325,812	-5,285,547	-140,933	9,321,592	12,412,473	13,950,904	4,812,580	37,581
	1997	515,367	-3,168,205	-2,956,217	-5,062,645	-5,450,446	-3,877,985	3,116,473	8,759,887	14,247,197	13,663,094	3,395,942	313,665
	1998	-554,497	-1,813,052	-3,518,827	-4,257,580	-5,446,808	-3,158,599	5,217,237	10,655,704	12,545,148	4,940,802	-365,302	-4,643,166
	1999	-2,385,020	-3,427,043	-4,078,258	-4,822,046	-5,417,406	-2,917,298	5,280,980	13,691,254	15,128,878	11,284,052	23,097	-3,268,199
	2000	-416,045	-2,756,935	-2,136,781	-3,173,130	-2,492,155	-1,832,535	2,837,356	10,223,136	13,856,849	14,109,647	6,551,741	3,457,368
	2001	3,542,663	1,000,961	1,234,861	-224,619	-6,039,206	-5,363,151	-1,990,657	7,184,153	7,370,613	10,038,216	1,784,707	-1,283,697
	2002	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na
	2003	-2,785,880	-2,418,676	-1,605,779	-6,539,941	-7,285,975	-5,384,143	-11,641,004	-4,113,108	1,447,685	-4,074,461	-2,740,822	-4,411,978
	2004	-2,002,316	-3,863,408	-4,475,560	-4,263,095	-3,462,545	-2,115,417	-3,136,483	3,620,786	16,691,022	8,160,616	5,846,428	-4,571,783
	2005	-2,424,992	-5,254,940	-6,498,329	-7,433,040	-8,332,407	-6,126,829	-1,486,024	-275,257	-7,258,815	-6,136,513	-7,658,821	-11,883,272
	2006	-8,668,407	-11,640,759	-12,513,975	-15,037,259	-17,257,872	-20,739,454	15,143,617	-12,423,931	-20,964,713	na	na	na
	2010	6,246,646	-4,855,704	-10,534,849	293,229	-7,548,263	1,616,473	-8,284,119	-27,781,662	-6,265,089	8,756,852	9,816,572	6,445,675
	2011	-2,685,639	3,166,830	-3,745,994	1,347,453	-6,951,269	-1,650,706	-17,070,781	-4,282,744	20,447,406	6,933,548	9,847,733	7,970,182
	2012	-300,840	-2,032,935	-5,536,973	na	na	na	-15,656,165	-2,321,556	2,540,390	12,486,977	10,847,094	7,459,626
	2013	-1,969,198	3,095,233	-3,547,182	na	na	na	1,837,403	5,340,365	-848,126	3,451,173	9,329,379	6,652,445
Prom fase 2		4,357,263	1,686,348	1,200,052	506,950	-893,288	1,288,028	3,242,405	5,763,463	8,391,854	10,996,668	6,860,695	4,173,783

Tabla V. 40. Pago por servicios ambientales anuales imputables al trasvase y al consumo local.

Año	VeA	Qcl	Qtr	lecl	letr
	(USD/año)	(m ³ /año)	(m ³ /año)	(USD/año)	(USD/año)
1,964	\$ 95,954,811.23	17,949,269	132,451,200	\$ 11,451,551.63	\$ 84,503,259.61
1,965	\$ 87,395,632.40	18,791,359	123,684,192	\$ 11,526,768.51	\$ 75,868,863.90
1,966	\$ 83,969,219.78	19,633,449	93,851,136	\$ 14,527,130.38	\$ 69,442,089.39
1,967	\$ 28,670,747.34	20,475,538	132,167,376	\$ 3,845,897.37	\$ 24,824,849.96
1,968	\$ 51,475,937.76	21,317,628	240,903,504	\$ 4,184,807.22	\$ 47,291,130.53
1,969	\$ 58,276,243.17	22,159,718	306,025,344	\$ 3,934,929.53	\$ 54,341,313.64
1,970	\$ 80,047,242.86	23,001,807	365,029,200	\$ 4,745,062.16	\$ 75,302,180.70
1,971	\$ 54,814,949.03	26,799,889	393,474,672	\$ 3,495,416.34	\$ 51,319,532.69
1,972	\$ 93,272,958.27	30,597,972	396,092,160	\$ 6,688,608.69	\$ 86,584,349.58
1,973	\$ 42,608,952.36	34,396,054	379,756,512	\$ 3,538,743.77	\$ 39,070,208.59
1,974	\$ 81,594,948.66	38,194,136	414,666,864	\$ 6,881,688.98	\$ 74,713,259.68
1,975	\$ 69,213,690.76	41,992,218	389,784,960	\$ 6,731,333.98	\$ 62,482,356.79
1,976	\$ 68,037,832.34	45,790,300	376,476,768	\$ 7,377,967.63	\$ 60,659,864.70
1,977	\$ 95,463,237.61	49,588,382	353,518,560	\$ 11,743,453.22	\$ 83,719,784.40
1,978	\$ 59,921,476.46	53,386,464	315,170,784	\$ 8,679,779.83	\$ 51,241,696.63
1,979	\$ 92,124,262.70	57,184,547	310,944,960	\$ 14,310,410.04	\$ 77,813,852.66
1,980	\$ 92,425,064.69	60,982,629	313,846,272	\$ 15,037,056.62	\$ 77,388,008.08
1,981	\$ 52,829,667.94	63,177,157	313,846,272	\$ 8,852,575.14	\$ 43,977,092.79
1,982	\$ 111,555,781.55	65,371,686	347,842,080	\$ 17,648,466.98	\$ 93,907,314.58
1,983		67,566,214	339,958,080		
1,984	\$ 90,050,464.57	69,760,743	301,799,520	\$ 16,907,048.29	\$ 73,143,416.28
1,985	\$ 84,225,190.48	71,955,271	228,383,712	\$ 20,178,687.34	\$ 64,046,503.14
1,986	\$ 65,081,163.62	74,149,800	232,735,680	\$ 15,724,938.39	\$ 49,356,225.22
1,987		76,344,329	217,566,864		
1,988		78,538,857	172,344,240		

FASE 2

Tabla V. 41 Pago por servicios ambientales del trasvase y del consumo local

	Año	VeA	Qcl	Qtr	lecl	letr
		(USD/año)	(m³/año)	(m³/año)	(USD/año)	(USD/año)
FASE 2	1,989		80,733,386	161,716,608		
	1,990	\$ 80,299,998.11	82,927,914	166,005,504	\$ 26,750,572.11	\$ 53,549,426.00
	1,991	\$ 53,179,767.82	86,336,086	165,879,360	\$ 18,204,012.06	\$ 34,975,755.75
	1,992	\$ 42,687,186.06	89,744,259	164,334,096	\$ 15,077,749.82	\$ 27,609,436.25
	1,993		93,152,431	164,365,632		
	1,994		96,560,603	169,600,608		
	1,995	\$ 18,467,591.02	99,968,775	148,471,488	\$ 7,431,092.01	\$ 11,036,499.02
	1,996	\$ 5,922,048.25	106,526,936	148,912,992	\$ 2,469,690.86	\$ 3,452,357.39
	1,997	\$ 23,496,125.42	113,085,098	147,683,088	\$ 10,189,362.75	\$ 13,306,762.68
	1,998	\$ 9,601,058.19	119,643,259	154,841,760	\$ 4,184,934.73	\$ 5,416,123.45
	1,999	\$ 19,092,990.79	126,201,420	174,078,720	\$ 8,024,382.00	\$ 11,068,608.79
	2,000	\$ 38,228,514.42	132,759,581	173,448,000	\$ 16,574,382.46	\$ 21,654,131.96
	2,001	\$ 17,254,843.28	135,528,629	173,921,040	\$ 7,557,045.58	\$ 9,697,797.70
	2,002		138,297,677	172,249,632		
	2,003	-\$ 51,554,082.47	141,066,724	201,515,040	-\$ 21,228,700.11	-\$ 30,325,382.36
	2,004	\$ 6,428,244.02	143,835,772	174,236,400	\$ 2,906,923.40	\$ 3,521,320.61
	2,005	-\$ 70,769,239.12	146,604,820	156,418,560	-\$ 34,238,650.33	-\$ 36,530,588.80
	2,006		150,251,331	148,912,992		
	2,010	-\$ 32,094,238.93	164,837,378	148,849,920	-\$ 16,864,980.60	-\$ 15,229,258.33
	2,011	\$ 13,326,017.15	167,567,736	126,144,000	\$ 7,602,728.28	\$ 5,723,288.87
	2,012		170,298,093	119,836,800		
	2,013		173,028,451	122,990,400		

